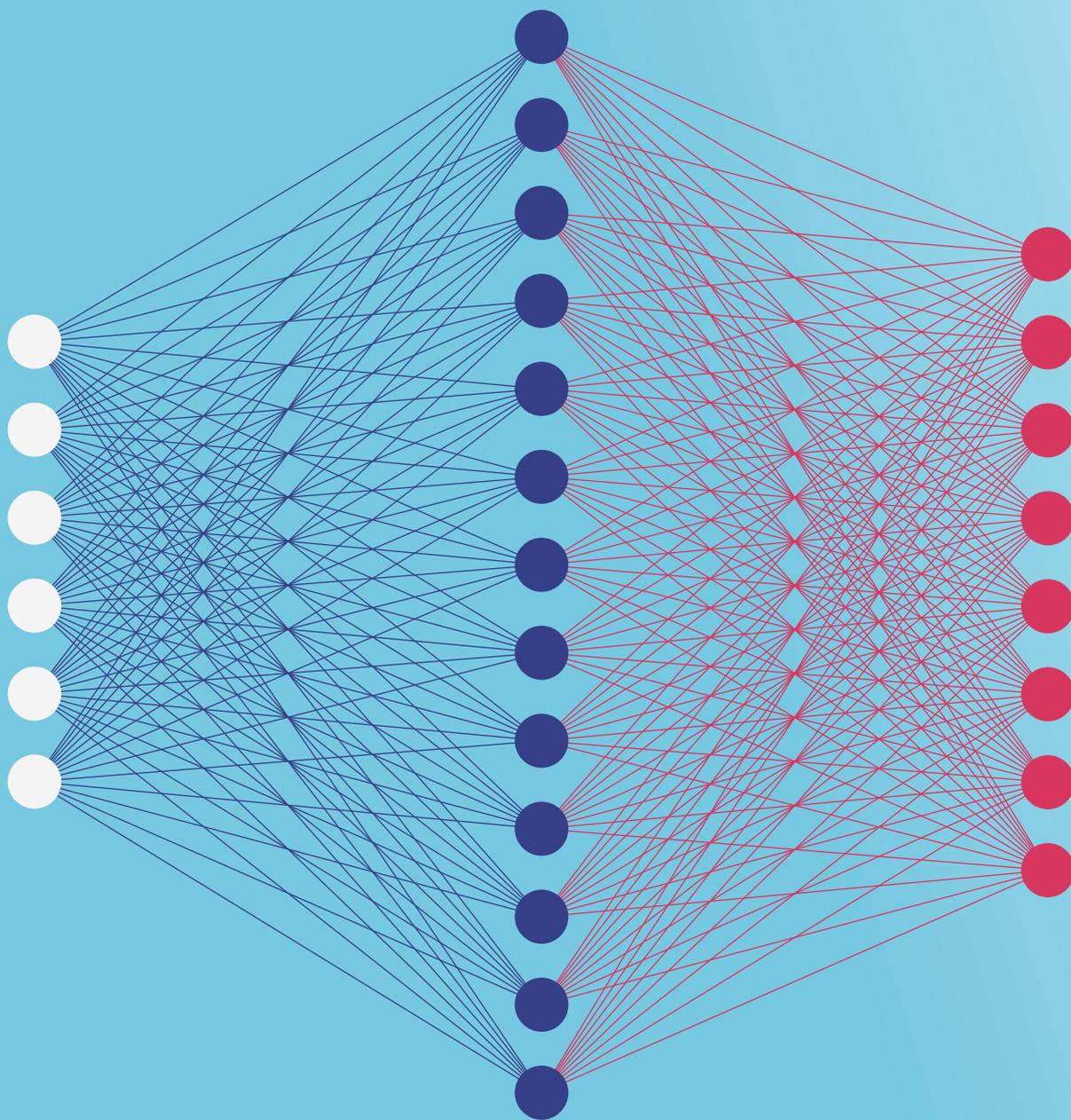


Data



Discoveries

Science ex machina 8

**Un disque dur
dans un atome 34**

**La formule
de l'amour 38**

**Entraînement sportif:
efficace ou placebo? . 44**

Résister aux sirènes des algorithmes

L'intelligence artificielle peut gagner au poker, rédiger un compte rendu sportif, créer une œuvre artistique. Dans la recherche scientifique aussi, elle progresse à pas de géant: elle aide les linguistes à analyser des corpus de textes, des physiciens à imaginer de nouveaux matériaux et des biochimistes à effectuer rapidement des centaines d'expériences. Mieux encore, des prototypes s'attaquent à des aspects réellement créatifs: ils formulent à partir d'observations des hypothèses inédites.

La puissance de ces nouvelles approches ne menace pas les emplois des chercheurs, comme on le craint pour d'autres activités. Elle a néanmoins le potentiel de redéfinir la manière dont nous pratiquons la recherche: il sera difficile de résister à l'appel d'outils qui produisent rapidement encore plus de résultats. Le vrai danger serait d'adapter notre pensée à celle de la machine. Nous en sortirions forcément perdants.

Car ces avancées soulèvent des questions épistémologiques très concrètes. Certaines preuves mathématiques générées par ordinateur sont bien trop longues pour être jamais lues - et donc vérifiées ou comprises - par un humain. Un algorithme suit des procédures d'optimisation relativement simples en principe, mais extrêmement complexes en pratique. Au final, il est pratiquement impossible de retracer le «raisonnement» suivi. Cette opacité exige une confiance aveugle en la machine. Que faire d'un résultat qu'on ne comprend pas? Cela pose une question plus profonde: la science se définit-elle par l'ensemble des connaissances qu'elle génère, ou bien par une méthode?

Pour le physicien Richard Feynmann, la science est une attitude: «It's is a kind of scientific integrity, [...] - a kind of leaning over backwards. For example, if you're doing an experiment, you should report everything that you think might make it invalid.» Il serait naïf de laisser cette dernière tâche à un programme informatique. L'essor des robots chercheurs est inévitable. Il doit nous encourager à raisonner de manière non pas algorithmique, mais discursive et contrefactuelle. Il sera d'autant plus crucial de garder un espace pour la pensée non conventionnelle. C'est elle, et non pas une machine à pipeter à tour de bras, qui se trouve au cœur de l'âme de la science.



Daniel Saraga, rédacteur en chef

horizons

**MACHINES
ARE TALKING
ABOUT YOU
AND ME
BEHIND OUR
BACKS**

**ROBOTS
PUSH YOUR
CLASS
BUTTONS**

**A LOT OF
PEOPLE
DON'T
WANT
PROGRESS**

**ROBOTS
DON'T
BUY
FURNITURE**

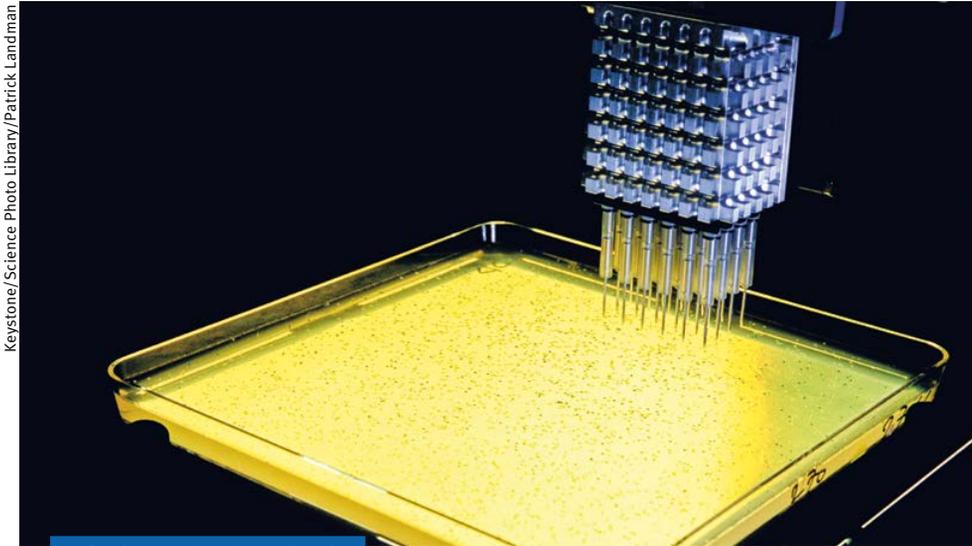
**YOU.
ME.
DRIVERLESS
CAR.
TONIGHT.**

**SCIENCE
FICTION
IS NOW
JUST
FICTION**

**OH...
I SEE YOU'RE
NOT USING
A MAC...**

**ROBOTS
YEARN TO
DETHRONE
YOU**

**ROBOTS
ATE
YOUR JOB
FOR
BREAKFAST**



Keystone/Science Photo Library/Patrick Landman

Point fort IA dans la recherche



Oskar Hagen

Science et politique

8

Les algorithmes de la connaissance

L'intelligence artificielle pourrait redéfinir la méthode scientifique. Tour d'horizon des espoirs et des doutes qu'elle suscite.

10 Industrialiser la recherche

Les robots automatisent des étapes de la science et inventent l'expérimentation dans le cloud.

13 Les ordinateurs chercheurs

Les algorithmes maîtrisent les données, mais les corrélations statistiques peuvent s'avérer trompeuses.

16 Un bibliothécaire numérique

Des startups veulent aider les chercheurs à trouver les bons articles au bon moment.

18 Big data, grand débat

L'IA représente-t-elle une révolution épistémologique ou n'est-elle qu'un simple singe savant? Les experts se montrent divisés sur son potentiel réel pour la recherche.

22 Trop d'anglais à l'uni?

Les universités devraient embrasser le plurilinguisme, revendiquent les experts.

24 Un Bernois à l'ONU

Peter Messerli codirige le premier Rapport mondial sur le développement durable.

25 Un instantané de la recherche

Le Concours FNS d'images scientifiques offre un portrait étonnant de la science.

29 Ses données pour la médecine

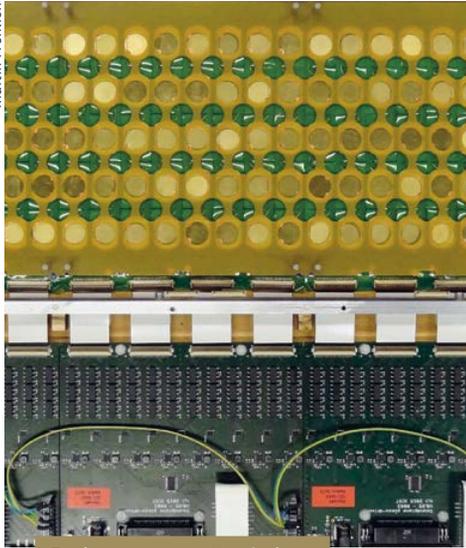
Les patients confient leurs informations aux chercheurs malgré le flou juridique.

◀ Couverture: tout comme les scientifiques, les algorithmes peuvent transformer les données en connaissance. Mais l'opacité de leur fonctionnement pose problème. Image: 2.stock süd

◀ Couverture intérieure: la cohabitation future entre humains et machines suscite des angoisses nombreuses et diffuses, et inspire l'écrivain Douglas Coupland. Image: Douglas Coupland

30

Martin Fröhlich



Environnement et technique

30 **Le maître de l'Univers**

Kevin Schawinski n'a qu'un seul but: comprendre la formation des galaxies.

32 **Un feedback subtil mais crucial**

Les musiciens interprètent inconsciemment les vibrations de leur instrument.

34 **Un atome pour mémoire**

La miniaturisation du stockage informatique atteint les limites physiques.

35 **Des feuilles rigides grâce au kirigami** **Imprimer un mini-labo chimique** **Le temps se gâte en Europe**

Débat

6 Boycotter les congrès scientifiques américains?

Lieu de recherche

36 Sur la route du charbon au Vietnam

38

Manu Friederich



Culture et société

38 **L'amour au labo**

Des psychologues observent des couples pour découvrir les ingrédients des relations épanouies.

40 **Intelligence émotionnelle artificielle**

Des algorithmes reconnaissent les émotions dans la voix.

41 **L'identité d'un quartier** **L'art de refuser poliment** **Le Brexit anticipé par les écrivains**

Comment ça marche?

49 Un test génétique rapide pour les aliments

Verbatim

50 Ne plus engraisser les maisons d'édition

42

Keystone/Gian Ehrenzeller



Biologie et médecine

42 **Modeler la nature**

Des parcs aménagés contreiraient mieux l'érosion de la biodiversité que des réserves naturelles.

44 **Doutes sur l'entraînement en altitude**

Des études contrôlées questionnent le training en oxygène raréfié.

46 **Electrochocs contre dyslexie** Des stimulations électriques locales normalisent des ondes cérébrales dérégées.

48 **Des bactéries protectrices** **Oreilles humaines et bovines similaires** **Le champignon qui fait pousser les fèves**

En direct du FNS et des Académies

51 La gestion des données se concrétise



Uwe Lewandowski (photomontage)

«C'est justement parce que nous croyons à ce merveilleux pays, à ses institutions et à son potentiel de changement que nous devrions soutenir le boycott.»

Les scientifiques doivent-ils boycotter les conférences américaines?

Le plan du président Trump de bloquer l'entrée de ressortissants de certains pays touche également les chercheurs. Serait-il utile de boycotter les congrès scientifiques organisés aux Etats-Unis?



Manu Friederich

«Un boycott suisse des congrès américains n'aurait pratiquement aucun impact sur l'administration Trump.»

Les Etats-Unis représentent sans aucun doute le hub scientifique le plus important au monde. Les conférences scientifiques y rassemblent facilement 30 000 personnes et permettent des échanges uniques entre des gens qui ne se côtoieraient sinon jamais. De tels contacts sont essentiels au bon fonctionnement de la science.

En voulant interdire aux chercheurs iraniens, irakiens, libyens, somaliens, syriens et yéménites de se rendre aux Etats-Unis, Donald Trump et son gouvernement les empêchent de prendre part à ces précieux échanges. Cette discrimination basée sur la nationalité et la religion est raciste, freine le progrès scientifique et exige une opposition claire.

Le boycott ne doit en aucun cas viser les chercheurs américains de manière individuelle. Nous devons continuer de collaborer et d'échanger avec eux, aux Etats-Unis et dans d'autres pays. Les conférences, en revanche, concernent l'ensemble des chercheurs et devraient avoir lieu dans un pays auquel tous peuvent accéder. Le Canada constituerait une bonne alternative.

Naturellement, on peut douter que le gouvernement Trump se laisse impressionner par un boycott scientifique. Mais

il existe des chances de succès dans la mesure où l'on soutient les villes, les universités et les organisations de la société civile dans leur action pour un changement politique. Les grandes conférences constituent aussi une source de revenus, et il est en notre pouvoir de peser sur ce levier économique pour préserver la liberté et la diversité scientifique.

Oui

dit Jutta L. Mueller,
professeure à l'Université d'Osnabrück.

Les Etats-Unis sont à l'origine d'un grand nombre de progrès scientifiques majeurs. Et c'est justement parce que nous croyons à ce merveilleux pays, à ses institutions et à son potentiel de changement que nous devrions soutenir le boycott et les forces du progrès.

Il est clair que tout boycott provoque des dommages collatéraux. Mais il faut parfois accepter de petites injustices pour combattre les grandes. Evidemment, il convien-

drait également de réserver le même traitement aux autres pays qui restreignent les échanges entre chercheurs, journalistes ou artistes, par exemple la Turquie. Mais l'enjeu consiste à peser avec soin les chances de succès et les éventuels dégâts pour les collègues concernés. Les perspectives de réussite sont grandes dans un pays libre comme les Etats-Unis, et l'on peut espérer qu'un boycott ne serait que de courte durée.

Jutta L. Mueller est professeure de psycholinguistique et de neurolinguistique à l'Université d'Osnabrück, en Allemagne. Elle entretient des échanges avec des scientifiques américains lors de conférences ayant lieu partout dans le monde et coordonne les séjours à l'étranger d'étudiants de nombreuses nationalités.

Bien sûr, le boycott peut constituer un moyen de protestation utile et non violent. Rosa Parker et la population noire d'Alabama ont refusé de prendre le bus pour dénoncer la ségrégation raciale dans les lieux publics. Cette action a abouti à la déclaration que ces bus violaient la constitution américaine. Mais d'autres boycotts ont provoqué l'effet opposé. Celui des produits de la famille Trump leur a fait encore plus de publicité et a entraîné un boom des ventes. Cette fois-ci, nous devons nous retenir de boycotter les conférences scientifiques américaines malgré le choc provoqué par le décret discriminatoire de l'administration Trump. Aujourd'hui, une telle mesure ferait plus de mal que de bien.

Le boycott est difficile à défendre sur le plan international tant que les tribunaux fédéraux n'ont pas validé le décret. Le système judiciaire américain défend les droits humains au plus haut niveau, ce qui est exemplaire. Il ne serait donc pas très cohérent de continuer à voyager dans d'autres pays qui ne respectent pas ces droits. Ces discussions politiques risqueraient de souligner encore davantage les distinctions basées sur la religion faites par Donald Trump. Boycotter les conférences aux

Etats-Unis nous réduit au même niveau intellectuel. Cela risque d'exposer encore davantage les chercheurs des pays concernés, sans les aider dans leur carrière et leur développement personnel.

Un boycott pourrait entraîner une escalade et même des réactions violentes contre les chercheurs, ce qui serait difficile à contrer. Il faut donner la priorité au dialogue et permettre à la diplomatie de convaincre l'administration Trump de changer sa politique, si celle-ci parvient vraiment à s'imposer.

Non

dit Anna Fontcuberta i Morral,
professeure à l'EPFL.

L'administration Trump procède à des coupes importantes dans le financement de la science. Pour soutenir les chercheurs aux Etats-Unis, il convient de continuer à les rencontrer malgré ces événements difficiles. On peut encore ajouter que la majorité des électeurs américains n'ont pas voté

pour Donald Trump et que les politiques de ce dernier ne reflètent pas la volonté de la population américaine dans son ensemble.

Que cela nous plaise ou non, les Etats-Unis restent le premier pays en matière de recherche. Opter pour un tel jeu ferait du tort aux institutions de recherche et d'innovation les plus en pointe, ce qui finirait par se retourner contre nous.

Pour être efficace, un boycott doit faire mal. Le Monday Boycott de 1955 en Alabama avait fait grand bruit en raison de pertes financières subies par les transports publics, les trois quarts de ses usagers étant noirs. Les scientifiques suisses peuvent décider de boycotter des congrès aux Etats-Unis, mais cela n'aurait aucun impact sur l'administration Trump, à moins que le monde entier ne se rallie à eux. Ce qui est en revanche certain, c'est que la recherche helvétique en souffrirait.

Anna Fontcuberta i Morral dirige le Laboratoire des matériaux semiconducteurs à l'EPFL. Elle a cofondé une startup lors d'un séjour de recherche au California Institute of Technology.



Par écran interposé, il nous observe, entre intérêt et perplexité. Dans sa série *The Man Machine*, l'artiste Vincent Fournier donne une étrange humanité à ces robots qui tentent – sans trop de succès – de s'intégrer dans notre société.

Photo: Reem B #7 [Pal], Barcelone, Spain, 2010. Vincent Fournier



La recherche scientifique
veut elle aussi profiter de
l'intelligence artificielle.
Mais quand faut-il faire
confiance à des résultats
générés par des algorithmes?

**L'envol de
la science in silico**

Un robot au labo

Des machines automatisent des expériences scientifiques répétitives. D'autres vont plus loin: elles élaborent elles-mêmes des hypothèses inédites et les testent par la suite.

Par Edwin Cartlidge

Effectuer une expérience scientifique sans quitter son bureau, remplir la moindre éprouvette ou jeter un œil dans un microscope. C'est la vision d'Emerald Cloud Laboratory: la société offre aux chercheurs de mener leurs travaux via Internet. Biologistes et chimistes peuvent formuler les protocoles et les superviser, modifier les paramètres des réactions et analyser les résultats. De quoi étendre le concept de cloud computing de la simple gestion des données au contrôle de processus à distance. L'idée est de libérer les chercheurs des travaux astreignants afin de leur laisser le temps de concevoir de meilleures expériences.

Ce service est fourni depuis un entrepôt de la région de San Francisco. Alignés en rang sur des bancs d'essai, des robots manipulateurs de liquides, des incubateurs automatisés et des centrifugeuses traitent les échantillons selon les instructions détaillées soumises par les utilisateurs via une interface en ligne. Les automates travaillent en continu de manière plus ou moins autonome, et les résultats arrivent sur l'ordinateur du chercheur en général dans les 24 heures suivant la requête.

Il n'existe que peu d'entreprises à offrir ce type de prestations. La première, Transcriptic, a été fondée en 2012 et a ses locaux à une vingtaine de kilomètres d'Emerald. La communauté scientifique compte déjà des enthousiastes. Justin Siegel, expert en biologie synthétique à l'Université de Californie à Davis, dit que ses étudiants chercheurs sont ainsi en mesure de tester davantage d'hypothèses et en formuler de plus audacieuses que s'ils effectuaient eux-mêmes les expériences. Cela permet aussi à des étudiants des degrés inférieurs de participer. «Ils peuvent se concentrer sur l'élaboration des expériences sans s'inquiéter de leur habileté à les exécuter», explique-t-il.

Emerald pourrait être victime de son propre succès. Son service cloud a démar-

ré en octobre 2016, et plusieurs centaines de laboratoires sont sur une liste d'attente. Son co-fondateur, Brian Frezza se dit confiant: il estime que société sera en mesure d'effectuer d'ici un an environ les cent expériences les plus courantes dans les sciences de la vie. Elle en offre actuellement une quarantaine. «Nous voulons être rentables à ce moment-là», dit-il.

La recherche connaît déjà bien les robots. Depuis des années, les laboratoires pharmaceutiques les utilisent pour des tâches longues et répétitives au début du développement d'un médicament. La biotechnologie y recourt pour manipuler l'ADN - un domaine en forte expansion où des fabricants d'appareils tels que Tecan, basé près de Zurich, satisfont la demande. «Les machines peuvent maintenant exécuter presque toutes les tâches qu'un humain effectue en laboratoire», explique Ross King, biologiste et informaticien à l'Université de Manchester en Grande-Bretagne.

L'avantage: la reproductibilité

Le séquençage de l'ADN constitue probablement l'archétype de l'automatisation dans les sciences. Par le passé, seuls quelques laboratoires assuraient le travail fastidieux nécessaire pour déterminer l'ordre des paires de bases nucléiques, aujourd'hui effectué par des automates à même de lire le matériel génétique des millions de fois. Ils ont été centralisés dans des plateformes technologiques, et les laboratoires assurent rarement eux-mêmes cette procédure, note Justin Siegel.

Ce que réalise Emerald est «fondamentalement différent», argue Brian Frezza. Au lieu de répéter «peut-être un million de fois la même expérience comme dans une usine automobile, nous faisons un million d'expériences différentes à la fois». Mais l'entreprise n'a pas l'ambition de concurrencer les prix des sociétés de recherche contractuelle qui combinent travail hu-

main et automatisé. Car ses robots ont de la peine avec les séries d'étapes successives (au contraire de procédures analogues menées simultanément). Au final, ils travaillent en général moins vite que des laborantins et reviennent plus cher.

Le grand avantage offert par les robots est la reproductibilité, avance Brian Frezza, car ils «manipulent toujours leurs pipettes exactement de la même manière». Il a fallu pour cela développer un jeu d'instructions qui permette aux scientifiques de définir exactement et sans la moindre ambiguïté les différentes étapes à accomplir par le robot pour une expérience donnée. Brian Frezza dit avoir réussi, après des années de travail, à développer un ensemble robuste de commandes, mais l'interface doit devenir plus conviviale. «L'idée d'écrire en code tend à rebuter les gens.»

«Les étudiants peuvent se concentrer sur l'élaboration des expériences sans s'inquiéter de l'exécution.»

Justin Siegel

Richard Whitby, chercheur à l'Université de Southampton en Grande-Bretagne, souligne lui aussi l'importance de la reproductibilité. La flexibilité des humains représente certes un avantage de taille pour réaliser des réactions complexes dans son domaine, la chimie organique. Pourtant, les publications scientifiques rendent souvent mal compte de cette complexité: ils omettent par exemple de préciser à quelle vitesse un réactif a été ajouté. Sans connaître tous les paramètres d'une réaction, il est difficile de quantifier l'effet de la modification d'une variable précise dans le but d'améliorer le processus chimique, note le chercheur.

Les laborantins reviennent moins chers que les machines.

Le chimiste dirige le projet Dial-a-Molecule, qui veut construire une machine capable de synthétiser à la demande n'importe quel composé organique - à l'instar de ce qui se passe aujourd'hui en génétique, où des fragments spécifiques d'ADN peuvent être simplement commandés par la poste. Richard Whitby ne se fait pas d'illusions sur la difficulté du projet: l'appareil devra réaliser des dizaines de milliers de réactions différentes, contre seulement quatre dans le cas des synthétiseurs d'ADN. Il se donne «de trente à quarante ans» pour y parvenir.

Les hypothèses automatiques

La vision de Ross King à Manchester est encore plus ambitieuse: il veut «automatiser le cycle complet de la recherche scientifique». Son équipe utilise, comme les entreprises du cloud, des robots commerciaux mais va plus loin en les connectant à des systèmes d'intelligence artificielle. Formé dans un domaine spécifique par la logique et la théorie des probabilités, un robot devra de lui-même élaborer des hypothèses afin d'expliquer une série d'observations. Dans un deuxième temps, le système développe des expériences afin de tester ses hypothèses, qu'il mène tout seul, avant de générer de nouvelles pistes. Le cycle pourra se répéter plusieurs fois dans le but d'apprendre quelque chose de nouveau sur le monde.

Ces idées, Ross King les a développées à l'Université d'Aberystwyth, dans le pays de Galles. Il y a construit le robot Adam qui a identifié en 2008 de nouveaux gènes responsables de l'encodage de certaines enzymes de la levure. Le chercheur s'est ensuite attelé à Eve, un robot d'un million de dollars. Ce dernier a découvert le mécanisme antipaludéen du triclosan, un produit antibactérien et antifongique courant, et ainsi ouvert la voie vers son éventuelle homologation.

La science des matériaux recourt elle aussi de plus en plus aux robots. En 2016, les ingénieurs du laboratoire de recherche de l'armée de l'air américaine dans l'Ohio ont présenté les résultats d'essais effectués par un robot doté d'intelligence artificielle sur des nanotubes de carbone, des molécules

cylindriques résistantes, légères et bonnes conductrices de chaleur et d'électricité. La machine a réalisé de manière autonome plus de 600 expériences où elle a modifié les paramètres pour essayer d'accélérer la croissance des nanotubes. Ses résultats ont confirmé des prévisions théoriques sur le taux de croissance maximal.

D'autres scientifiques veulent même automatiser les découvertes en physique, bien qu'ils n'utilisent pas des robots en tant que tels. Hod Lipson de l'Université Cornell a développé un algorithme qui génère au hasard des équations avant de sélectionner, selon un processus évolutionniste, celles qui correspondent le mieux à des données expérimentales. En 2009, son équipe a annoncé avoir formulé de cette manière un modèle du pendule double (un système mécanique relativement simple) et être parvenue à ce qu'elle décrit comme des lois de conservation pertinentes en physique. Deux ans plus tard, elle a utilisé des données sur le métabolisme de la levure pour dériver des équations décrivant l'énergie libérée par la dégradation du sucre.

«Les machines s'améliorent sans cesse alors que les hommes ne changent pas.»

Ross King

Mais tout le monde n'est pas convaincu. Dans une lettre envoyée en 2009 à la revue Science, les physiiciens américains Philip Anderson et Elihu Abrahams ont accusé les équipes de Ross King et de Hop Lipson de «se tromper gravement sur la nature de l'entreprise scientifique». Ils relèvent que les machines contribuent à ce que le philosophe Tomas Kuhn appelle la science normale, mais ne découvriront jamais de nouvelles lois physiques capables de la transformer. Ils soutiennent que «des lois physiques pertinentes et les variables sont connues d'avance» dans les recherches de Hop Lipson sur les pendules.

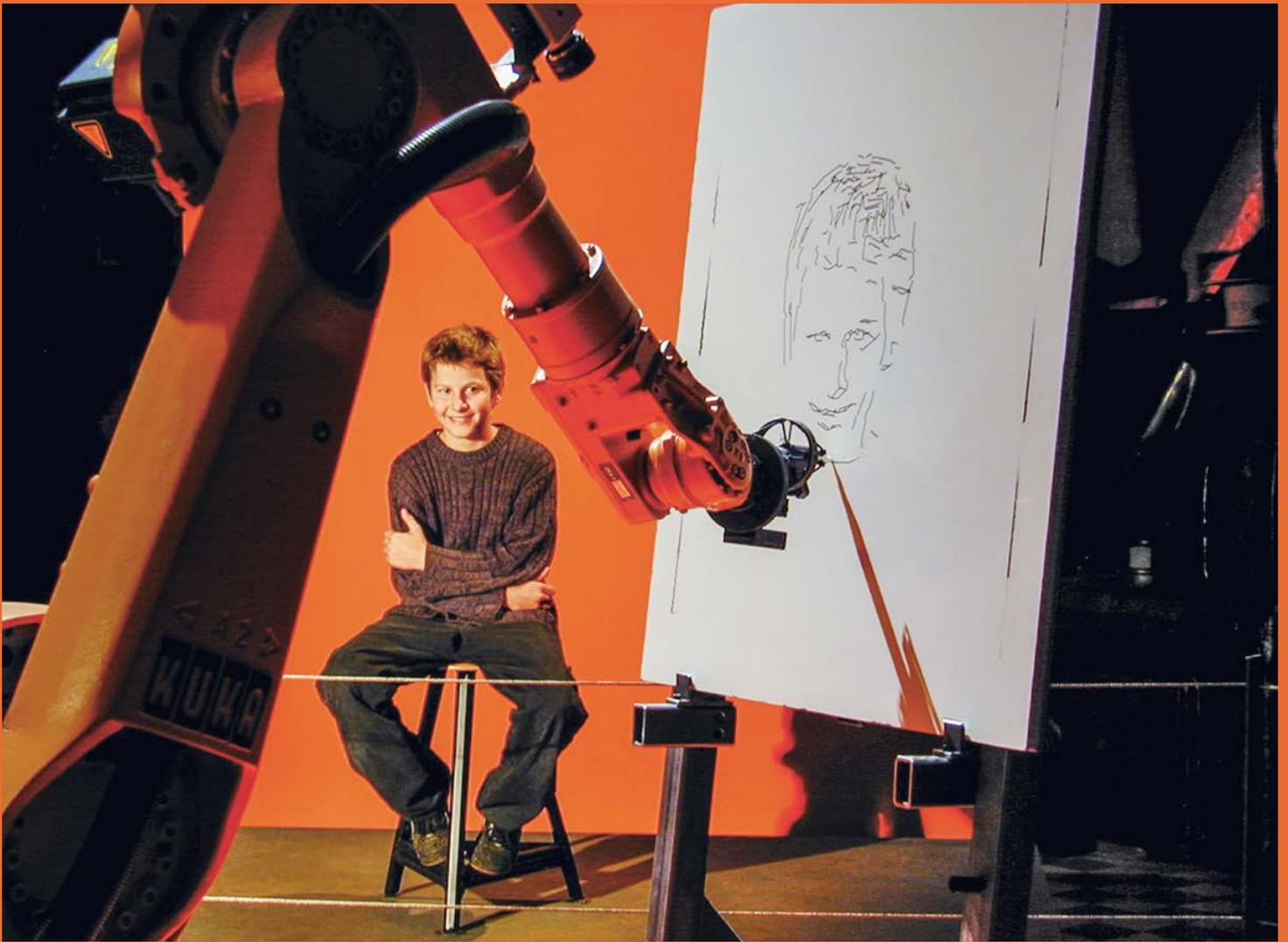
Ross King reconnaît que les machines ont leurs limites et relève qu'un robot qui mène à bien une expérience ne sait pas

Lexique de l'intelligence artificielle (IA)

- **Apprentissage automatique (machine learning):** ce domaine de l'IA développe des algorithmes capables d'apprendre par eux-mêmes à résoudre un problème donné (reconnaissance, classification, prédiction, traduction, etc.).
- **Apprentissage supervisé:** des données d'entraînement (par exemple des paires liant les propriétés d'un objet à sa catégorie) nourrissent l'algorithme qui peut ainsi créer un modèle lui permettant de classer de nouveaux objets. L'apprentissage non-supervisé peut révéler des structures cachées dans des données, sans passer par des exemples.
- **Apprentissage par renforcement:** le système attribue une «récompense» liée aux résultats générés par l'algorithme. Celui-ci s'adapte pour la maximiser. Application typique: apprendre à jouer aux échecs.
- **Réseau de neurones artificiels:** ce modèle inspiré par l'architecture du cerveau comprend une grande collection de neurones artificiels interconnectés. Il recombine les propriétés de l'objet analysé pour en créer des représentations de plus en plus complexes et abstraites et, par exemple, le classer. Lors de l'apprentissage, le réseau teste de nouvelles combinaisons.

pourquoi il le fait. Il raconte aussi que son équipe souhaitait inclure Adam et Eve dans la liste des auteurs de leurs contributions mais qu'on leur a répondu que c'était impossible parce qu'ils ne pouvaient pas donner leur accord. Il ne doute cependant pas que les automates intelligents prendront toujours plus de place dans les sciences, portés par le pouvoir croissant des ordinateurs, de meilleurs algorithmes et les progrès de la robotique. «Les machines s'améliorent sans cesse alors que les hommes ne changent pas, dit-il. Il n'y a pas de raison que cette évolution s'arrête.»

Basé à Rome, Edwin Cartlidge écrit pour les revues Science et Nature.



Un bras robotique tire le portrait d'un visiteur. Le stylo ne tremble pas, mais l'algorithme qu'il suit à la lettre ne laisse aucune place à l'interprétation.

Photo: robotlab (2002)

La science augmentée

L'intelligence artificielle est entrée dans le quotidien des chercheurs. Révolution scientifique ou simple outil, elle offre des possibilités inédites à ceux qui savent en profiter.

Par Roland Fischer

Les machines intelligentes et autres systèmes capables d'apprendre de manière autonome contribuent déjà à la recherche, et ce, depuis des décennies. Les premiers essais d'apprentissage automatique pour identifier des motifs dans le code génétique datent de plus de vingt ans. Et la physique des particules teste l'intelligence artificielle (IA) depuis si longtemps qu'au tournant du siècle, le milieu dénonçait une baisse d'intérêt et lançait des appels à redynamiser cette approche.

«Le CERN a mené des expériences avec les réseaux neuronaux dans les années 90», note Sigve Haug du Laboratoire de physique des hautes énergies de l'Université de Berne. Mais on ne parlait à l'époque simplement pas encore de «machine learning».

Aujourd'hui, le recours à l'IA dans les grandes expériences de physique des particules n'a plus rien d'extraordinaire, que ce soit pour l'analyse des données ou leur reconstruction. L'informatique distribuée l'utilise aussi régulièrement dans les programmes qui optimisent la répartition des tâches entre plusieurs centres de calcul. Mais l'IA n'est pas seulement omniprésente au CERN. On la retrouve désormais en chimie physique, biologie moléculaire, génétique médicale, astrophysique et humanités digitales. Partout où il y a du big data, des grandes quantités de données à traiter.

Faut-il se préparer à la prochaine étape, qui pourrait voire l'intelligence artificielle se glisser dans des assistants de laboratoire d'un nouveau genre et faire émerger des équipes composées d'hommes et de machines? «Absolument, avance Karsten Borgwardt du Machine Learning and Computational Biology Lab à ETH Zurich. On ne peut déjà plus s'en passer dans de nombreux domaines des sciences de la vie qui exigent de travailler avec des procédés à haut débit.» Comme découvrir des liens dans les données génétiques d'un demi-million de dossiers médicaux.

Les quantités de données deviennent tout simplement trop importantes, note le chercheur: «Personne n'est capable d'identifier à l'œil nu une structure significative

encore inconnue.» Face à de tels volumes d'informations, il est indispensable de développer des procédures d'analyse statistique efficace, à l'instar du jeune professeur. Pour lui, la frontière entre statistique et apprentissage automatique s'estompe toujours plus.

La science dopée

L'intelligence artificielle comme partenaire du chercheur: l'idée rappelle le concept de l'«Advanced Chess» formulé par Garry Kasparov peu après sa défaite contre Deep Blue il y a exactement vingt ans. Il estimait qu'à l'avenir, les parties ne devraient plus opposer des humains entre eux ou à un ordinateur, mais plutôt des équipes composées d'humains et de machines. Les échecs pourraient ainsi atteindre un tout autre niveau, bien au-delà des stratégies à portée de notre espèce.

«L'apprentissage automatique, c'est la science sous stéroïdes», écrit Pedro Domingos dans «The Master Algorithm». Le spécialiste en IA à l'Université de Washington y postule l'existence d'un algorithme d'apprentissage surpuissant capable de tout comprendre. Son utilisation intensive rendrait la recherche plus rapide, efficace et profonde. Libérés des procédures statistiques routinières, les scientifiques se concentreraient entièrement sur la composante créative de leur travail. Pour Pedro Domingos, il ne s'agit rien de moins que l'avènement d'un nouvel âge d'or des sciences.

«L'apprentissage automatique, c'est la science sous stéroïdes.»

Pedro Domingos

Mais tous les chercheurs familiers de l'IA n'entonnent pas aveuglément ce type de louanges. Comme Neven Caplar de l'Institut d'astronomie d'ETH Zurich, un passionné des données: il leur consacre son

blog astrodataiscool.com et a utilisé l'apprentissage automatique pour quantifier les biais sexistes dans les publications en astronomie. Le jeune chercheur constate bien une progression significative des publications liées à l'IA, mais il se demande encore si elle s'imposera dans son domaine de recherche. L'astronomie est «une science sujette à pleine de distorsions» où le contrôle des instruments joue un rôle essentiel. C'est pourquoi il faut éviter autant que possible d'en faire une boîte noire, un outil peut être pratique qui livre de bons résultats mais dont on ne comprend pas le fonctionnement. L'interprétation humaine continue de jouer un rôle central pour traiter les données issues d'observations, souligne Neven Caplar.

Un outil comme un autre

«Ah! ces boîtes noires!» s'exclame son collègue Kevin Schawinski (voir également «Galaxies citoyennes», p.30). Tout le monde reproche à l'IA de ne pas nous permettre de comprendre la logique suivie, et de la remettre en question. Pas lui: «Je ne vois aucune boîte noire. Il s'agit simplement d'une méthode scientifique qu'il faut calibrer et tester pour bien la comprendre. Cela a toujours été le cas lorsque la science s'est approprié une nouvelle technique.» Après tout, aucun chercheur ne comprend dans leur intégralité des dispositifs expérimentaux aussi complexes que le Grand collisionneur de hadrons (LHC) du CERN ou le télescope Hubble. Il faut faire confiance à la communauté scientifique. Pour l'astrophysicien, elle devrait pouvoir bien s'assurer de la rigueur de la procédure, également dans le cas de l'intelligence artificielle.

Kevin Schawinski a lancé avec des informaticiens la plateforme Space.ml qui réunit un ensemble d'outils d'interprétation des données astronomiques faciles à utiliser. Il a mis au point une méthode pour optimiser des images de galaxies à l'aide d'un réseau de neurones afin d'en extraire davantage d'informations sans que l'ordinateur ait besoin d'instructions supplémentaires. D'autres applications demandent

«L'apprentissage automatique se trouve toujours dans un équilibre précaire entre aveuglement et hallucination.»

Pedro Domingos

un apprentissage supervisé qui utilise des données d'entraînement. Choisies spécialement et étiquetées à la main, elles aident l'ordinateur à formuler lui-même des règles qui lui permettront d'exécuter une tâche.

Des algorithmes trop zélés

Le biostatisticien Karsten Borgwardt se sert par exemple de l'apprentissage supervisé pour découvrir si certaines modifications du génome pourraient avoir des effets néfastes sur l'organisme. Il nourrit l'ordinateur d'exemples déjà connus dans l'espoir qu'il trouvera de lui-même de nouvelles corrélations.

Mais un problème existe: l'overfitting. Il faut toujours se demander si l'ordinateur a reconnu des caractéristiques essentielles du système étudié ou si, au contraire, il finit par se noyer dans la mer de données et surinterprète ce qui ne sont en fait que de simples corrélations dues au hasard. Pour Pedro Domingos, l'apprentissage automatique se trouve toujours dans «un équilibre précaire entre aveuglement et hallucination»: l'algorithme risque soit de ne rien identifier soit de percevoir des choses qui n'existent pas - l'overfitting. Un système peut «trop apprendre», et tout entraînement supplémentaire ne fait qu'aggraver la situation.

Une des principales raisons de l'overfitting en génomique et en médecine vient d'un certain manque de transparence des données d'entraînement, explique Karsten Borgwardt. Cela empêche d'évaluer correctement dans quelle mesure elles correspondent à la situation concrète qu'on veut étudier. Si l'entraînement manque de variété, la machine ne parviendra peut-être pas à généraliser suffisamment. Ses recoupements ne correspondront qu'à un simple appris par cœur, et l'intelligence artificielle ne vaut pas mieux qu'une banque de données usuelle. Impossible dans ce cas de générer de nouvelles connaissances.

Même si tout fonctionne parfaitement durant la phase de formation, il faut encore distinguer les corrélations purement aléatoires de celles qui présentent une véritable signification statistique, poursuit Karsten Borgwardt. L'augmentation du volume de

données génétiques accroît le risque de tomber sur des variantes du génome qui coïncident avec la présence d'une maladie mais sont en fait apparues suite au hasard. Une partie essentielle du travail consiste à identifier des indices statistiquement significatifs dans des espaces à dimensions extrêmement nombreuses. Autrement dit: être en mesure d'analyser rigoureusement aussi des situations très complexes et multifactorielles.

L'apprentissage automatique reste encore peu répandu en chimie physique mais suit une «progression rapide» dans ce domaine, relève Anatole von Lilienfeld de l'Université de Bâle. Ce spécialiste des matériaux estime que l'IA «constituera inévitablement une composante à part entière de la plupart des recherches dans dix ans».

«L'interprétation humaine continue de jouer un rôle central pour traiter les données issues d'observations.»

Neven Kaplar

Son groupe réalise un travail de pionnier: il a calculé grâce à l'IA les propriétés de millions de cristaux qui peuvent - en théorie - être construits à partir de quatre éléments de base. La machine a notamment identifié 90 structures inconnues à ce jour suffisamment stables du point de vue thermodynamique pour être intéressantes comme nouveaux matériaux potentiels. Même le spécialiste se dit impressionné par le gain d'efficacité engendré par l'IA dans le calcul des propriétés des cristaux, effectué par l'IA des millions de fois plus rapidement. Une amélioration telle qu'elle «permet non seulement de résoudre des problèmes conventionnels, mais ouvre carrément de nouveaux champs de recherche».

Le chimiste formule cependant lui aussi certaines réserves: l'apprentissage automatique ne fonctionne qu'en présence d'un

principe défini de cause à effet, et lorsque suffisamment de données sont disponibles. Autre condition décisive: «Le chercheur doit posséder une expertise suffisante pour concevoir une représentation efficace du système étudié et de ses propriétés.»

Ce type d'expertise est également capital pour Guiseppe Carleo d'ETH Zurich. Le physicien théoricien a trouvé le moyen de reproduire grâce à un réseau de neurones la fonction d'onde de systèmes quantiques. Une fois ce pas franchi, son optimisation n'a représenté «qu'un jeu d'enfant». L'algorithme l'a effectuée rapidement et sans problème, alors que les méthodes traditionnelles atteignent vite leurs limites pour de tels volumes de calculs. La simulation de systèmes quantiques complexes semblait jusqu'à récemment «une chose impossible».

La nouvelle approche s'appuie sur la méthode de l'apprentissage non supervisé dans lequel l'ordinateur apprend sans bénéficier de savoir préalable. En physique théorique, elle permet de considérer «de vieux problèmes sous de nouvelles perspectives». Le physicien s'est d'ailleurs inspiré du triomphe de l'algorithme AlphaGo contre l'un des meilleurs joueurs de go mondiaux. Ce programme a progressé en menant d'innombrables parties contre lui-même et la méthode utilisée - l'apprentissage par renforcement - a projeté son intelligence stratégique dans des sphères totalement inédites.

Guiseppe Carleo a repris cette approche et l'a adaptée à ses objectifs. Pour simplifier, il a demandé à la machine de considérer le problème de la fonction d'onde comme un jeu dans lequel l'objectif est bien défini, mais le chemin pour l'atteindre est totalement libre. Elle devait apprendre d'elle-même à choisir les meilleures solutions. L'IA s'est prise au jeu. Au point qu'elle maîtrise désormais la physique quantique mieux que ceux qui l'ont développée.

Roland Fischer est journaliste libre et travaille à Berne.



Voudra-t-on célébrer l'anniversaire d'un robot? Sera-t-il programmé pour éprouver de la joie, ou est-ce que d'autres sentiments plus ambigus pourraient surgir? L'artiste Kevin Grennan s'interroge – ici avec l'aide d'une actrice – sur l'empathie pouvant exister entre humains et machines.

Image: Kevin Grennan, *Android Birthday*, 2011. Video.

Actor: Sylvi Kim

Un assistant dans les pattes

Des startups proposent des algorithmes «intelligents» pour mieux gérer la littérature scientifique. Ces outils doivent encore faire leurs preuves. *Par Sven Titz*

Après les échecs, le poker et les voitures autonomes, les machines intelligentes s'attaquent à l'une des activités humaines les plus complexes: la recherche scientifique. Des algorithmes doivent filtrer les millions de publications scientifiques apparaissant chaque année et faciliter leur évaluation par peer review.

Corrélations trompeuses

Les entreprises commercialisant ce genre de produits semblent pécher par excès d'optimisme. La startup norvégienne Iris promet d'améliorer la recherche d'études scientifiques pertinentes. A partir d'un article donné, son interface livre des centaines de résultats classifiés par «concepts-clés». Mais une partie des résultats ne vaut rien: l'algorithme a établi des liens entre des concepts qui n'ont rien à voir entre eux.

Semantic Scholar, un moteur de recherche de littérature scientifique, existe depuis deux ans. Conçu en Californie par l'Allen Institute for Artificial Intelligence, il utilise l'apprentissage automatique afin d'identifier les concepts scientifiques dans les textes, pour l'instant dans les domaines de l'informatique et des neurosciences. Paul Ginsparg de l'Université Cornell, un co-fondateur de la plate-forme de preprint scientifiques Arxiv, met en avant une qualité de Semantic Scholar: il ne prend pas seulement en considération le nombre de

citations d'un article, mais aussi leur importance, à savoir qui a mentionné une étude et dans quel contexte. Une méthode «qui devrait s'avérer plutôt utile».

Les moteurs de recherche intelligents tels que Semantic Scholar ou Sparrho se basent essentiellement sur les banques de données de littérature académique Google Scholar et Pubmed. Ils ont été rejoints ces derniers mois par des produits similaires, Microsoft Academic et Recommended de Springer Nature.

Retracer l'évolution des concepts

D'autres sociétés sont plus ambitieuses. A Toronto, la startup Meta développe son propre procédé pour scanner la littérature spécialisée avec des réseaux de neurones à plusieurs couches. Il serait à même de retrouver l'origine d'un concept scientifique, en remontant dans le temps à travers tout un champ de recherche, affirme la société. Un produit destiné à l'industrie pharmaceutique, aux éditeurs, aux instituts de recherche et aux autorités. Une partie des algorithmes ont été créés par la société qui a développé le logiciel de Siri, l'assistant vocal d'Apple. Meta a été récemment rachetée par l'Initiative Chan Zuckerberg. Mais Meta reste encore une boîte noire aux yeux des experts, que ce soit Jana Koehler de la Haute école de Lucerne ou Peter Flach de l'Université de Bristol: ils disent manquer d'informations pour l'évaluer.

«La difficulté est d'intégrer de manière pertinente les compétences particulières des humains.»

Peter Flach

Des formes élémentaires d'intelligence artificielle sont déjà utilisées pour évaluer des publications scientifiques. Peter Flach et ses collègues ont développé le programme open source Subsift pour trouver des experts compétents afin de juger un article. Les algorithmes cherchent les concordances dans le vocabulaire décrivant à la fois les articles et les experts. Pour le chercheur de Bristol, c'est une défi considérable de concevoir des logiciels qui vont au-delà des fonctions courantes telles que la concordance («matching»): «La difficulté est d'intégrer de manière pertinente les compétences particulières des humains.»

Le journaliste scientifique indépendant Sven Titz habite Berlin.



Les algorithmes de l'installation «Refactor» génèrent une peinture défilante qui se renouvelle continuellement. Ils se basent notamment sur les mouvements du peintre Nikzad Arabshahi enregistrés pendant deux semaines.

Photo: Nikzad Arabshahi (Visual) & Vedad Famourzadeh (Audio), décembre 2016

Une nouvelle intelligence qui s'ignore

Que vaut une découverte si on ne peut la comprendre? L'arrivée des machines intelligentes dans les laboratoires interroge l'essence même de la connaissance. *Par Nic Ulmi*

Formuler des hypothèses, faire des découvertes: ces termes sont au cœur de la démarche scientifique. Depuis le début des années 2000, des machines dotées d'intelligence artificielle ont commencé à s'engager sur ce terrain. Elles développent de nouvelles manières de produire des résultats et assument un rôle qu'on imaginait autrefois réservé aux seuls humains. De plus en plus performantes, mais dépourvues de la capacité de comprendre leurs propres réussites, ces machines laissent entrevoir une vision déroutante: une recherche scientifique automatisée, robotisée, industrielle.

Trois exemples pour commencer. A l'Université Tufts au Massachusetts, un réseau de neurones artificiels s'est attaqué à une vieille énigme de la biologie en formulant une hypothèse sur la régénération du planaire, un ver d'eau douce qui sait faire repousser sa queue ou sa tête lorsqu'il les perd. Un autre, à l'Université d'Adelaïde en Australie, a découvert le moyen optimal de produire un condensat de Bose-Einstein, un ensemble de bosons refroidi près du zéro absolu qui rend apparents des phénomènes quantiques macroscopiques. Et les machines de la startup Insilico Medicine à l'Université Johns Hopkins de Baltimore ont mis au point des molécules potentiellement utiles en oncologie.

«Nos esprits peuvent effectuer un travail d'abstraction sans effort.»

Roger Schank

Vétéran de l'intelligence artificielle (IA), Roger Schank ne se montre pas du tout convaincu. «Tout cela, ce n'est absolument pas de l'intelligence artificielle», proteste-t-il. Le chercheur, actif aux Universités Yale, Northwestern et Carnegie-Mellon, redoute la répétition d'un scénario connu. Au début des années 1970 et à la fin des années 1980,

deux vagues de hype autour de l'intelligence artificielle font place à des «hivers de l'IA»: les attentes excessives commencent à retomber, l'intérêt du public entre en hibernation, les fonds sont gelés. «La presse s'y donne maintenant à cœur joie, mais elle passera ensuite à autre chose. Le problème, c'est qu'entre-temps la recherche sur l'IA risque d'être tuée une fois de plus. Cela ne m'amuse pas.»

Le steak et le coiffeur

De quoi s'agit-il, si ce n'est pas de l'intelligence? «Les exemples que vous citez sont en fait des programmes de pattern matching (filtrage de motif, ndlr), répond Roger Schank. C'est le procédé utilisé par Facebook pour identifier votre visage sur des photos.» Autrement dit, les machines génèrent des motifs (le schéma d'une molécule, le plan de régénération d'un ver planaire) qu'elles comparent ensuite à des régularités identifiables dans des bases de données préexistantes, passant ces dernières au peigne fin. «Mais la manière dont les scientifiques font des découvertes est tout autre: elle commence par le fait d'être désorienté. L'incompréhension que vous ressentez face à un phénomène vous conduit à formuler une hypothèse, puis à la tester. C'est ce processus, précisément, qu'on appelle science.»

Roger Schank aime raconter une histoire pour illustrer la différence entre la découverte humaine et l'apprentissage automatique. Il l'appelle «Le steak et la coupe de cheveux»: «Je discutais avec un collègue à Yale, me plaignant que je ne parvenais jamais à me faire servir un steak saignant: la viande arrivait toujours sur ma table trop cuite. Pourquoi diable? me demandais-je. Pour toute réponse, le collègue me dit: j'ai vécu en Angleterre, autrefois, et là-bas aucun coiffeur n'arrivait à me faire une coupe en brosse. Eurêka! Chacune des deux histoires explique l'autre: en passant à un niveau d'abstraction supérieur, on se rend compte qu'elles sont identiques. Nous avons affaire, dans les deux cas, à des per-

«La manière dont les scientifiques font des découvertes commence par le fait d'être désorienté.»

Roger Schank

sonnes qui sont bien capables de fournir le service qu'on leur demande, mais qui ne parviennent pas à obtempérer, car elles jugent nos requêtes trop extrêmes.» Moralité de l'histoire? «Nos esprits savent effectuer ce travail d'abstraction sans effort. Ils sont en mesure de regarder une chose comme si elle était une autre. Ils sont motivés par le fait que nous avons naturellement des objectifs: rassasier notre appétit, ou satisfaire une curiosité mise en branle par une situation qui nous rend perplexes.»

C'est ainsi que fonctionne notre cerveau. Mais la nouvelle vague de recherches et d'applications dans le domaine de l'IA, née à la fin des années 1990, ne vise plus à reproduire le modèle de cognition de l'esprit humain. Ce tournant mène vers un type de connaissance inédit, où le savoir est produit par apprentissage automatique à partir des mégadonnées. Cette bifurcation a tiré l'IA de sa léthargie et a permis les suggestions d'Amazon, à Siri, à la victoire d'AlphaGo sur l'un des meilleurs joueurs de go au monde, ou encore à prédire l'expression des gènes d'une bactérie, selon une étude de l'Université de Pennsylvanie de 2016.

Cette technologie peut-elle véritablement produire de la science? Ou faut-il pour cela un besoin existentiel de comprendre, un désir de connaître, une «libido sciendi», comme aurait dit saint Augustin - autant de choses qu'une machine ne saurait avoir?

La théorie du fun

On se tourne vers Jürgen Schmidhuber, codirecteur de l'Institut Dalle Molle de recherche en intelligence artificielle (Idisia) à Lugano. «Lorsque l'IA aura grandi, elle l'appellera peut-être «papa»,» écrivait à propos de lui le New York Times en novembre 2016. Le chercheur a notamment développé en 1997 l'approche de la «long short-term memory», utilisée aujourd'hui par les programmes de reconnaissance du langage parlé. Il considère qu'un même système de récompense peut être à l'œuvre dans le cerveau des scientifiques, des artistes et des bébés, ainsi que dans les réseaux de neurones

artificiels. Ces différentes formes d'intelligence peuvent éprouver une forme de plaisir lorsqu'elles arrivent à identifier, dans le désordre du monde, des récurrences et des régularités qui leur étaient inconnues.

«Imaginez un programme qui doit modéliser une séquence d'images montrant cent pommes en train de tomber, explique le chercheur. Sans connaître la force de la gravité, il aura besoin d'un nombre considérable de bits pour encoder les données. Mais après avoir découvert cette régularité, il pourra l'utiliser pour faire des prédictions et moins de bits lui seront nécessaires. Cette différence entre avant et après, donc cette compression des données, mesure la profondeur de la nouvelle connaissance acquise par réseau. Cela déclenche un signal de récompense: un moment de joie intérieure pour le réseau, si vous voulez.»

Jürgen Schmidhuber formalise ce mécanisme de récompense dans sa théorie formelle du fun et de la créativité. Pour lui, il se manifeste chez le musicien surpris par une harmonie nouvellement créée, et expliquerait également l'humour: «Lorsque la chute d'une blague fait apparaître un schéma inattendu dans le récit, elle permet tout à coup d'en compresser les données. C'est alors qu'on rit.» Ce phénomène est crucial pour programmer des machines dotées de curiosité artificielle et susceptibles de faire des découvertes.

Pour cela, le réseau doit fonctionner comme un duo, explique le chercheur: «D'un côté, le contrôleur exécute des actions et mène des expériences générant des données; il est motivé par la maximisation des récompenses reçues. De l'autre côté, un modèle envoie une rétribution à chaque fois que la découverte d'une nouvelle régularité lui permet de compresser les données. C'est un tel système qu'il faut mettre en place si l'on veut construire un scientifique artificiel.»

Une science aléatoire

Le réseau neuronal d'Insilico Medicine recourt à un tel système dual, explique

Polina Mamoshina, généticienne et informaticienne associée au projet. «Le générateur est programmé pour créer de manière virtuelle et aléatoire des structures moléculaires. Le discriminateur s'entraîne avec des bases de données à reconnaître des molécules capables d'inhiber la croissance des tumeurs. Initialement, le but du générateur est de piéger le discriminateur, ce qui amène ce dernier à faire de fausses identifications, tout en lui permettant de s'améliorer par la suite.»

«La chute d'une blague permet tout à coup de compresser les données. C'est alors qu'on rit.»

Jürgen Schmidhuber

Parmi les 60 molécules trouvées par le générateur et validées par le discriminateur, certaines existaient déjà et avaient été brevetées comme agent thérapeutique contre le cancer. «C'est une indication encourageante sur la précision du système, poursuit Polina Mamoshina. Nous allons maintenant entamer le processus de validation des autres molécules in vitro, puis in vivo.» Pour la chercheuse, cette approche révolutionne le domaine: au lieu de cribler à l'aveugle une grande quantité de composés, le but est de créer des médicaments sur demande.

En attendant les machines curieuses de Jürgen Schmidhuber et des systèmes à l'aise avec l'histoire du steak et de la coupe de cheveu de Roger Schank, l'apprentissage automatique et les mégadonnées sont en train de redéfinir la nature de la pratique scientifique. A l'Université de Bristol, le professeur d'intelligence artificielle Nello Cristianini prend le parti d'embrasser ces nouveaux outils, tout en appelant à délimiter leur champ d'application: «Je travaille avec la machine learning depuis vingt ans. J'ai le plaisir d'affirmer qu'il

fonctionne. La machine apprend, dans le sens où elle améliore ses performances avec l'expérience.»

Ce sont ces approches qui se cachent derrière une part énorme des bénéfices d'Amazon lorsque les bons livres se voient recommandés à la bonne personne. «Il faut souligner que ces algorithmes ne contiennent pas un modèle psychologique de chaque utilisateur ni un modèle de critique littéraire pour chaque livre, poursuit Nello Cristianini. Ils mènent un raisonnement purement statistique: des gens ayant telle caractéristique et tel comportement ont acheté des livres ayant telle particularité. Cela signifie une chose importante: on peut faire une prévision sans avoir une théorie.»

«Je travaille avec le machine learning depuis vingt ans. J'ai le plaisir d'affirmer qu'il fonctionne.»

Nello Cristianini

Mais peut-on vraiment transposer ce modèle à la science? «Il n'y a pas de raison philosophique pour que cela soit impossible, répond le chercheur. Un ordinateur pourrait générer des modèles de molécules et prédire leur toxicité. Ce qu'on gagne? La capacité de mettre au point un médicament in silico, sans être obligé de produire toutes les molécules possibles et de les tester sur des souris. Ce qu'on perd? Le moyen de savoir pourquoi le médicament agit.»

L'apprentissage automatique constitue une boîte noire, car il ne nous permet pas de comprendre le raisonnement suivi par la machine. Cette opacité se révèle particulièrement épineuse en dehors du monde

académique, note le chercheur, «lorsque des algorithmes déterminent l'accès à des droits: être admis dans une école ou éligible pour une assurance, bénéficier de la liberté conditionnelle...»

La fin de la théorie?

Ce type d'apprentissage, est-ce encore de la science? «Il ne faut pas se leurrer, poursuit Nello Cristianini. Si le machine learning fonctionne pour faire de l'argent avec des prévisions correctes, cela aboutira à redéfinir progressivement ce qu'on entend par science. Les fonds pour la recherche suivront les applications pratiques, et les autres approches risqueront d'avoir des difficultés de financement.» Doit-on craindre «la fin de la théorie», comme le proclamait Chris Anderson? En 2008, le responsable du magazine Wired affirmait que «le déluge des données rend la méthode scientifique obsolète.»

«Nous devons nous demander quel est le but des théories, répond Nello Cristianini. Pour moi, la réponse est extrêmement claire. Faire une belle théorie de la mécanique ou de la thermodynamique, comprendre un morceau de notre univers, cela représente une valeur culturelle infinie. Nous avons besoin de connaître le fonctionnement du monde et de nous-mêmes.» Une bonne théorie a une valeur concrète: «Une prévision de type boîte noire n'est pas suffisante lorsque l'enjeu est très élevé, par exemple lorsqu'on envoie une sonde sur Mars ou planifie une opération chirurgicale. Dans ces cas, on veut savoir exactement ce qui se passerait si on changeait tel ou tel paramètre. Cela implique un raisonnement contrefactuel, qu'on ne peut aborder que par des théories.»

D'un côté, des machines probabilistes. De l'autre, des êtres mus par un désir de comprendre, enraciné dans leurs fonc-

tions biologiques et générateur de théories. Les premières remplaceront-elles les seconds? «Ce qu'on pourra confier aux machines, ce seront des tâches spécifiques», avance Nello Cristianini. Exemples? «Etant donné une séquence d'acides aminés, dessine-moi la protéine. A partir d'un génome humain complet - trois milliards de lettres -, trouve-moi les 20 000 gènes qui le composent... Mais déterminer la signification et l'importance de la découverte, cela restera un tâche humaine.»

Le même partage du travail peut s'appliquer dans les sciences sociales: «Je travaille avec des historiens pour mesurer les transitions historiques dans la culture anglaise et italienne à partir de la lecture systématique des journaux. Personne ne peut lire 500 millions d'articles: la machine le parcourt donc pour nous. C'est pourtant l'historien qui explique ensuite pourquoi tel ou tel résultat est important.»

Complémentarité: Jürgen Schmidhuber en est également convaincu. «Dans les laboratoires scientifiques comme ailleurs, les machines rempliront des tâches fastidieuses dont, au fond, les humains ne voudraient pas. Bien sûr, cela va supprimer des postes de travail. Il faudra donc réagir en tant que société pour distribuer les gains. Cela passera par un revenu inconditionnel, des impôts sur les robots ou autre chose.»

Les questions sociales soulevées par la robotisation des sciences restent aussi ouvertes que les questions épistémologiques. Une prédiction automatique est-elle un savoir scientifique? Nello Cristianini relève ce défi: «Je viens tout juste d'engager deux philosophes des sciences pour commencer à réfléchir à cette question.»

Nic Ulmi est journaliste indépendant à Genève.



Le programmeur Ross Goodwin et le réalisateur Oscar Sharp ont conçu Benjamin, le «premier générateur automatique de scénarios». Ils l'ont nourri avec des scripts d'une centaine de films de science-fiction. Le résultat est un film déroutant de huit minutes: **Sunspring**. Il s'avère difficilement accessible à une intelligence humaine.

Image: thereforefilms.com/sunspring

He starts to shake.

H (CONT'D)

It may never be forgiven, but that is just too bad. I have to leave, but I'm not free of the world.

C

Yes. Perhaps I should take it from here. I'm not going to do something.

H

You can't afford to take this anywhere. It's not a dream. But I've got a good time to stay there.

C

Well, I think you can still be back on the table.

H

Mmm. It's a damn thing scared to say. Nothing is going to be a thing but I was the one that got on this rock with a child and then I left the other two.

He is standing in the stars and sitting on the floor.

Sprechen-vous English?

De plus en plus de cours universitaires suisses se donnent désormais en anglais. Certains le peçoivent comme un mal inévitable. D'autres appellent à embrasser un vrai plurilinguisme assumé. *Par Pascale Hofmeier*

Un professeur de psychologie allemand qui enseigne à l'Université de Genève en anglais; des cours d'histoire de l'art à l'Université de Zurich, annoncés se dérouler en allemand, mais où on entend plutôt la langue de Shakespeare. La globalisation de la recherche amène en Suisse une élite scientifique qui communique en anglais, même si ce n'est souvent pas sa langue maternelle. La tendance est à la hausse, confirment les hautes écoles de Bâle, Berne, Genève et Zurich interrogées par Horizons, même si les statistiques manquent à ce sujet.

«Pour ceux qui commencent leurs études, il s'agit d'un obstacle supplémentaire», remarque Josef Stocker, de l'Union des étudiants de Suisse (UNES). Il n'est certes pas insurmontable, poursuit l'étudiant en mathématiques; dans de nombreuses matières, l'usage de l'anglais s'avère même judicieux. Il dit clairement voir la nécessité de se faire comprendre dans un environnement international, mais souligne que la tendance se traduit pour de nombreux étudiants par du travail supplémentaire. «Les hautes écoles devraient faire preuve de transparence sur la proportion de cours donnés en anglais. Aujourd'hui, les règlements ne sont parfois pas respectés à cause du manque d'enseignants maîtrisant une langue nationale.» Il serait également bénéfique que les hautes écoles proposent une aide concrète pour améliorer le niveau d'anglais des étudiants.

Des règles peu claires et peu suivies

Les règlements et la politique linguistique des universités sont souvent vagues et

varient fortement. Une directive de 2010 d'ETH Zurich souligne que l'allemand est en principe prévu pour l'enseignement en bachelor, mais que des cours peuvent être dispensés en anglais ou en français. A l'EPFL, le site Internet informe que le français domine en première année, mais qu'ensuite jusqu'à 50% des cours ont lieu en anglais. Les masters se déroulent dans l'une des deux langues, ou sont bilingues. A l'Université de Bâle, les enseignements de bachelor sont «majoritairement en allemand». Quant à l'Université de Zurich, les différentes facultés peuvent décider elles-mêmes ce qui leur convient.

«Il n'est plus tenable de proposer des cours totalement unilingues.»

Rita Franceschini

De grandes différences existent entre les filières. Dans les sciences naturelles, les sciences de la vie et les sciences sociales, l'anglais est inévitable. C'est aussi de plus en plus souvent le cas en lettres. Les pessimistes craignent que le recours à une langue unique n'appauvrisse la science. Les optimistes considèrent qu'une lingua franca scientifique représente une opportunité pour communiquer de manière universelle.

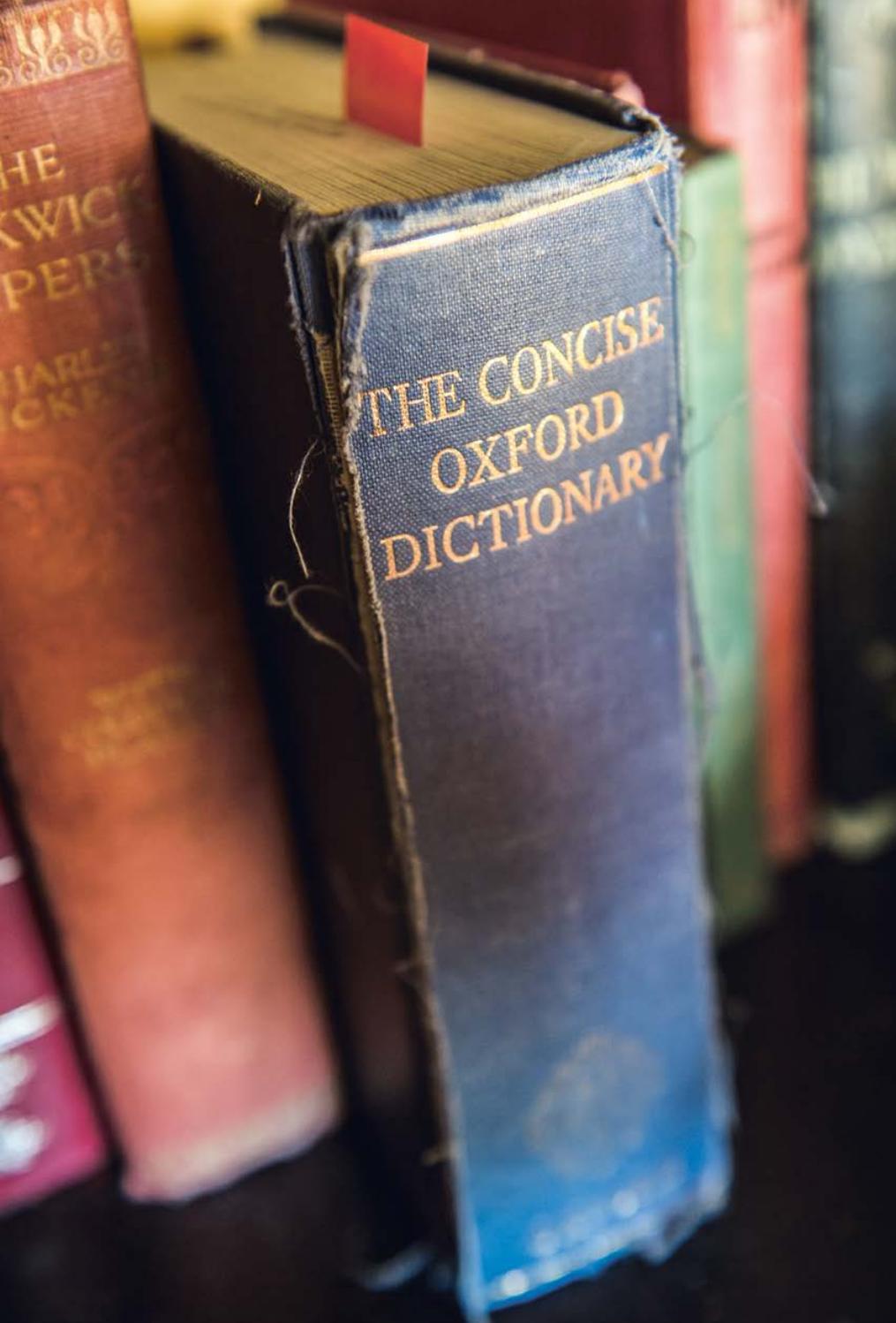
«Sans l'anglais, ça ne marche pas», lance Gerd Folkers, président du Conseil suisse de la science et de l'innovation (CSSI) et professeur de chimie de l'ETH Zurich. Les étu-

dants doivent pouvoir lire les sources et les articles en langue originale.» Il soutient la revendication pour davantage de transparence au sujet des langues d'enseignement dans les universités suisses: «Les règles du jeu doivent être publiques.» Il réclame par ailleurs une approche réfléchie sur la question plutôt que des décisions fortuites. «L'enjeu consiste à trouver la langue qui correspond le mieux au contenu.»

Gerd Folkers aborde une différence importante en science. De nombreux contenus sont décrits à l'aide d'une langue «théorique» relativement indépendante des constructions linguistiques, notamment dans les sciences très formalisées telles que les mathématiques. D'un autre côté, ces concepts sont communiqués et débattus dans la langue de l'enseignement - l'allemand, le français ou l'anglais. «En Suisse alémanique, donner un cours en anglais sur les effets biochimiques d'un nouvel antibiotique ne pose pas problème, car j'utilise une langue théorique. Mais l'allemand peut représenter un meilleur choix si l'on veut aborder leur utilisation dans l'élevage porcin et discuter des conséquences pour les humains. Car les faits complexes touchant à plusieurs disciplines s'organisent mieux dans le cerveau s'ils sont transmis dans notre langue maternelle.»

Le plurilinguisme comme projet

Gerd Folkers plaide pour une approche plus consciente du plurilinguisme. L'anglais s'est imposé comme consensus minimal. «Mais l'université est-elle vraiment un lieu où accepter le plus petit dénominateur commun?» A ses yeux, il serait plus coura-



La question n'est pas d'être pour ou contre l'anglais, dit la linguiste Rita Franceschini, mais de maîtriser la langue qu'on utilise. Photo: Valérie Chételat

geux d'améliorer les connaissances en anglais des étudiants en proposant des cours et des tutorats, tout en cultivant le plurilinguisme afin de stimuler le discours scientifique dans la langue maternelle. Un biologiste intervenant devant une assemblée communale sera-t-il en mesure d'expliquer de manière claire dans sa première langue un projet de protection de la nature s'il a suivi tout son cursus en anglais?

La professeure de linguistique Rita Franceschini va plus loin et défend une façon différente d'aborder la question: «Je souhaiterais un développement plus dynamique, un vrai plurilinguisme. Au

lieu de considérer l'anglais comme un problème, les universités devraient planifier le plurilinguisme. Il n'est plus tenable de proposer des cours totalement unilingues. Les concepts devraient si possible être introduits en parallèle dans plusieurs idiomes.»

Les parcours linguistiques sont devenus plus variés avec la mobilité internationale. Rita Franceschini ne pense donc pas qu'à l'anglais. Un professeur né à Lugano, qui a grandi en Berlin et étudié à Londres sera, selon les circonstances, plus à l'aise pour argumenter en anglais, en allemand ou en italien.

«Sans anglais,
ça ne marche pas.»

Gerd Folkers

«La langue permet de transmettre de nouveaux savoirs, poursuit Rita Franceschini. Mais comment aide-t-on les étudiants à se les approprier? Une possibilité est de le rattacher à des connaissances existantes. Les universités devraient mieux intégrer cette idée en tant que concept linguistique.»

Rita Franceschini enseigne à l'Université de Bolzano, dans le nord de l'Italie. L'établissement a mis en place un concept linguistique qui tient compte du contexte trilingue de la région, où l'on parle ladin (un idiome rétho-roman) ainsi que l'allemand et l'italien. Les professeurs sont encouragés financièrement à apprendre l'une de ces deux langues, au moins pour un usage quotidien. «Cette approche serait aussi souhaitable dans les universités suisses», estime-t-elle. Malgré nos quatre langues nationales, la réalité est néanmoins tout autre: seules quelques hautes écoles disposent d'un concept réglementant l'articulation des langues nationales et de l'anglais. L'une d'entre elles est l'Université de Genève. Et à la question de savoir si les professeurs étrangers doivent apprendre une langue nationale, la réponse est des plus fédérales: chaque université est libre d'en décider.

Pascale Hofmeier est rédactrice scientifique au FNS.

INTERVIEW

«La science sera présente à la même table que les chefs d'Etat»



Le premier rapport mondial sur le développement durable de l'ONU, le Global Sustainable Development Report, paraîtra en 2019. Le comité de quinze experts chargé de sa rédaction est co-présidé par

Peter Messerli, géographe et professeur de développement durable à l'Université de Berne. Une opportunité unique pour la science d'influencer la plus importante instance politique mondiale.

Quelle est la mission du rapport?

Lors de la Conférence de Rio en 2012, les Etats membres de l'ONU ont décidé de renforcer l'échange de savoir entre la science et le monde politique. Le rapport jouera un rôle important dans la mise en œuvre des objectifs de développement durable de l'Agenda 2030 de l'ONU ainsi que leur contrôle. Mais il n'y a pas de formule magique. L'important maintenant, c'est d'examiner avec soin les avantages et les inconvénients des différentes mesures, à la lumière des faits et des connaissances. Il s'agit du seul moyen pour prendre des décisions équitables.

Votre stratégie pour aborder ce travail herculéen?

Nous voulons diviser le rapport en quatre grands domaines. Les chapitres portent premièrement sur les interactions entre les différents objectifs de développement durable de l'Agenda 2030. Nous nous concentrons ensuite sur la mise en œuvre: quels changements peut-on

envisager et comment les engager? Et nous devons garder à l'esprit de nouveaux thèmes pas encore pris en compte dans l'Agenda 2030.

Et quatrièmement?

Nous désirons renforcer substantiellement la voix de la science et sommes en mesure de le faire. Nous devons développer et utiliser des méthodes adéquates pour trouver des solutions à l'interface entre science et politique. Il y a un besoin urgent d'agir dans ce domaine.

Le rapport ne risque-t-il pas de finir dans les tiroirs comme tant d'autres?

Non, bien au contraire. La voix de la science sera présente à la même table que les chefs d'Etats lorsqu'ils se réuniront à l'assemblée générale de l'ONU en 2019.

Comment un Suisse atteint-il une telle position?

La Suisse est à la pointe de la recherche sur les changements globaux. Les échanges entre la politique, la science et la population font partie intégrante de notre système démocratique. C'est aussi pour cela que, depuis le début, la science est représentée au sein de la délégation suisse.

Interview: This Rutishauser

LE CHIFFRE

44%

Réduction du budget du ministère brésilien de la science, annoncée le 30 mars 2017.

L'OUTIL

Unpaywall

L'extension Unpaywall pour navigateur web facilite la recherche d'une version open access légale d'un article scientifique bloqué par un paywall. Alternative: OA Button.

LA CITATION

«L'ouverture et la reproductibilité se trouvent peut-être au cœur de la méthode scientifique, mais elles peuvent être perverties dans le but de mener des attaques idéologiques.»

Brian Nosek, du Center of Open Science, dans *The Atlantic*.

NEWS

Des articles scientifiques moins lisibles

Pour 707452 abstracts publiés dans 122 journaux majeurs en biomédecine depuis plus d'un siècle, des chercheurs du Karolinska Institutet à Stockholm ont calculé les indices de lisibilité de Flesch et de Dale-Chall. Ceux-ci quantifient le nombre de syllabes par mot, de mots par phrases et de vocables peu communs. Résultat: la clarté des textes diminue régulièrement. L'effet n'est pas seulement dû à la spécialisation croissante de la recherche, mais aussi à l'utilisation de jargon scientifique général. doi.org/b5t4

Biais de publication: l'analyse des méta-analyses

L'épidémiologue de Stanford John Ioannidis a étudié les publications primaires résumées dans 3042 méta-analyses dans tous les domaines scientifiques afin de mieux comprendre les facteurs liés aux biais de publication (citations biaisées, influence de financements privés, etc.). Résultats: les biais sont hétérogènes à travers les disciplines et sont en moyenne très faibles. Les effets annoncés dans les publications sont plus souvent exagérés dans des petites études précurseurs fréquemment citées, rédigées notamment

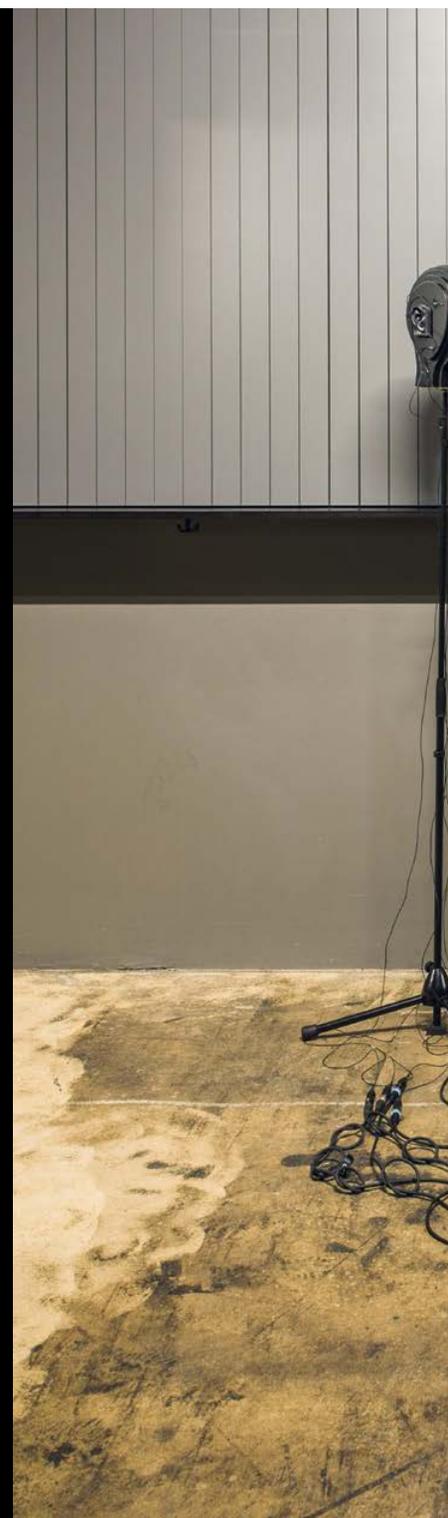
par des chercheurs en début de carrière ou isolés. Les effets sont au contraire sous-estimés par des études publiées hors journaux. Ce travail n'a pas confirmé certains facteurs tels que des bonus financiers à la performance, la productivité du scientifique ou son genre. doi.org/b5t6

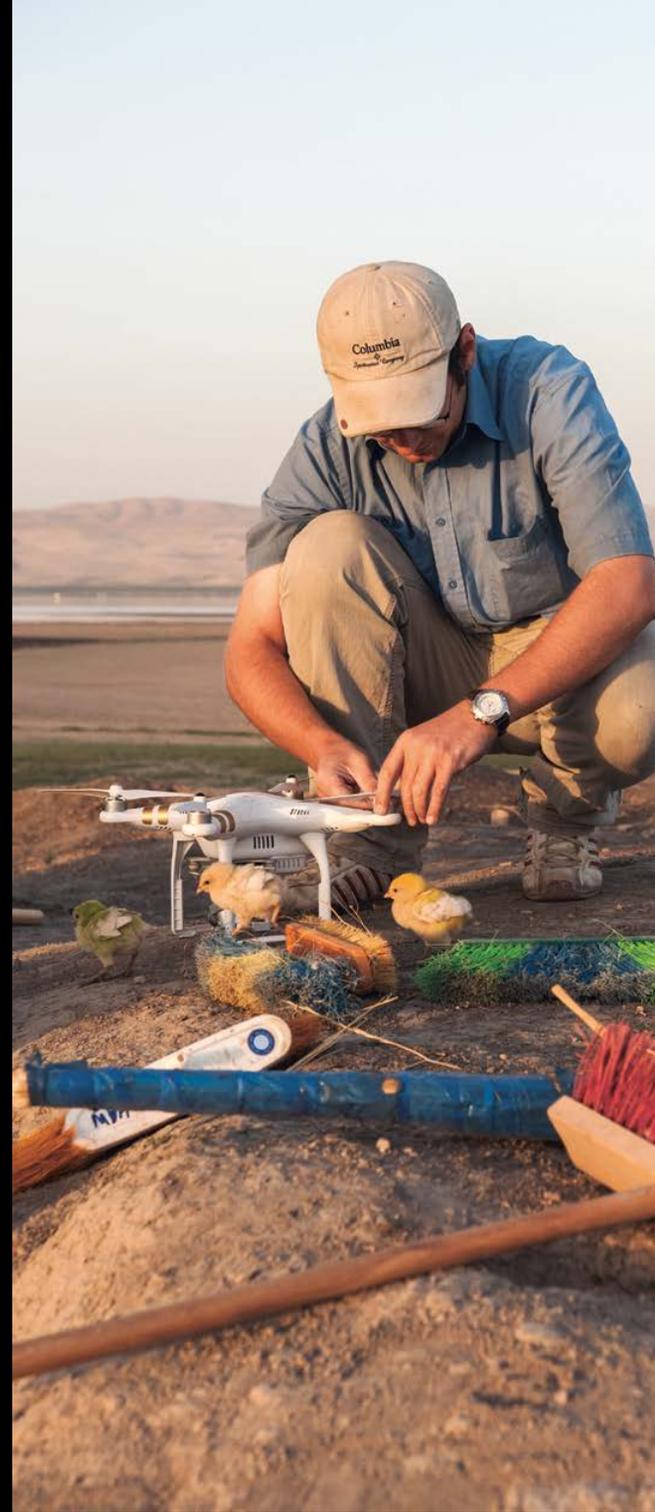
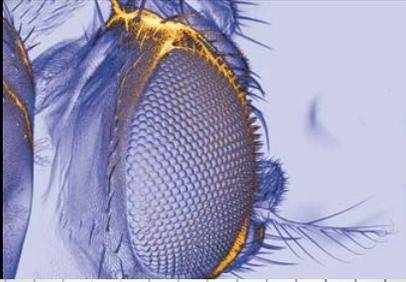
Des collaborations scientifiques freinées par l'élargissement européen

C'est un paradoxe que dévoile une étude d'IMT Lucca (Italie): les dix pays d'Europe de l'Est ayant rejoint l'UE en 2004 ont vu leurs collaborations internationales diminuer. La proportion d'articles co-rédigés avec des institutions étrangères a baissé de quelques points pour passer en dessous de 30% alors qu'elle continuait à augmenter dans les pays déjà dans l'UE ou d'Amérique du Nord. Explication: les chercheurs performants ont quitté le pays pour rejoindre les scientifiques avec lesquels ils collaborent dans les pays riches. doi.org/b5t5

La face cachée de la science

C'est une image nuancée de la recherche que présentent les œuvres soumises au premier Concours FNS d'images scientifiques. La rédactrice photo d'Horizons, Valérie Chételat, a fait sa sélection — sans avoir pris connaissance du choix officiel du jury.







Légendes

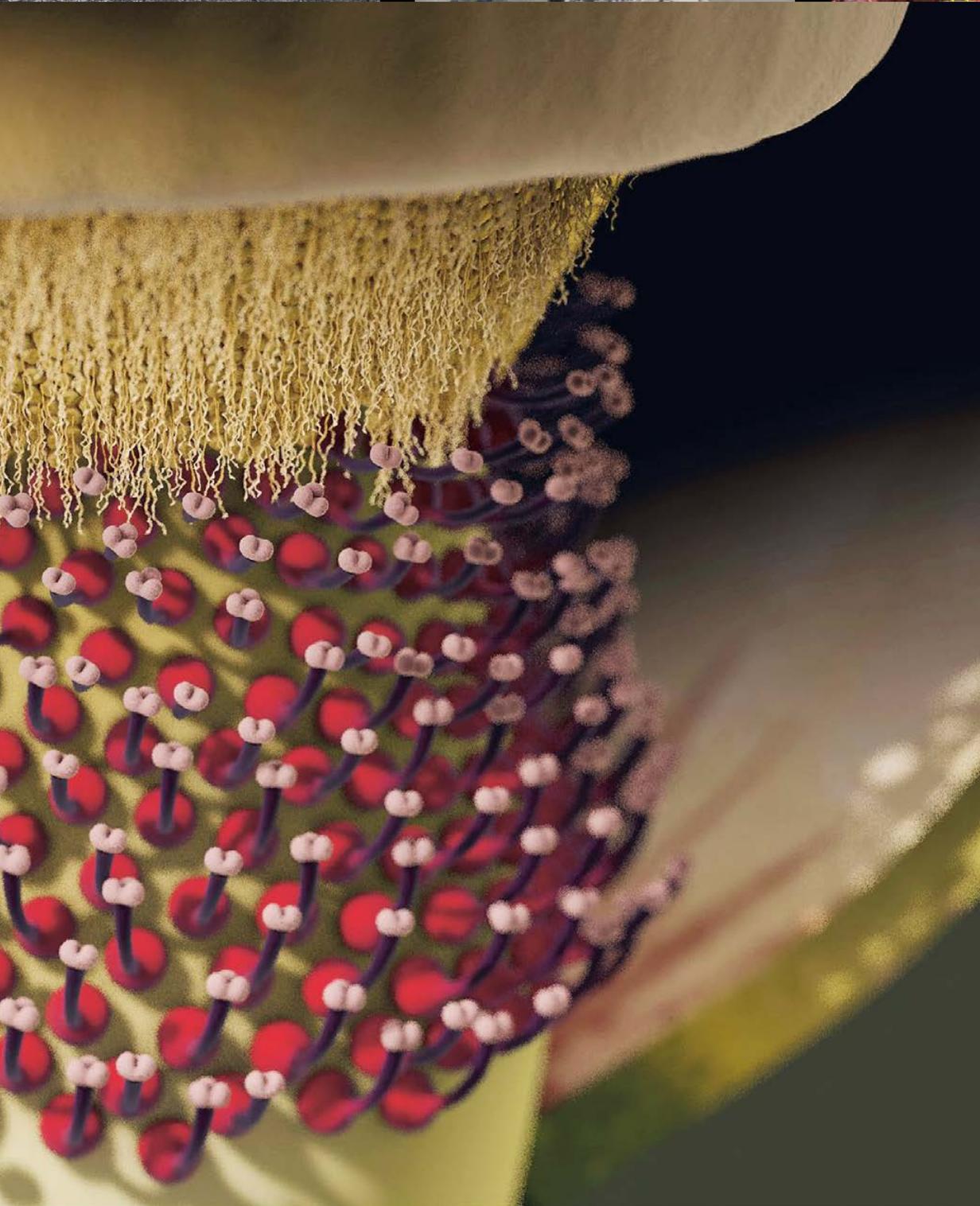
(Rangée du haut, de gauche à droite, pp. 26–28)

- ▶ Microscopie électronique d'un œil de drosophile, Carole Seum (Université de Genève).
- ▶ Métro de Pékin à l'heure de pointe, Max Bergman (U. de Bâle).
- ▶ Chien sauvage et fléchette, Dominik Behr (U. de Zurich).
- ▶ Alignement de miroirs, Bogdan Dereka (U. de Genève).
- ▶ Localisation de suricates dans le désert du Kalahari par radiotélé-métrie, Hector Ruiz (U. de Zurich).
- ▶ Œuf appréhendé par une main robotique, Tobias Bützer (ETH Zurich).
- ▶ Construction en ficelle dans un jardin botanique du Cap (mention du jury), Melanié Boehi (U. de Bâle).
- ▶ Installation d'une caméra GoPro sur la grue d'une déchetterie, Flavia Caviezel (Hochschule für Gestaltung und Kunst FHNW).
- ▶ Jeu de rôle sur les changements de cultures agraires, Swen Bos (ETH Zurich).

(Grandes images, pp. 25–28)

- ▶ Une microbiologiste transférant de l'azote liquide (lauréat de la catégorie «Les femmes et les hommes de la science»), Jürg Sigrist (Eawag).
- ▶ Enregistrement binaural (mention du jury), Ludwig Zeller (Hochschule für Gestaltung und Kunst FHNW).
- ▶ Préparation d'un drone en vue de relevés archéologiques dans le Kurdistan irakien, Susanne Rutishauser (U. de Berne).
- ▶ Modèle numérique interactif de l'arum titan, une fleur pouvant atteindre 3 mètres de haut, Alessandro Holler (ZHdK).





Le Concours FNS d'images scientifiques

Les photos et vidéos reçues dans le cadre du nouveau concours organisé par le Fonds national suisse (FNS) révèlent ce que les scientifiques vivent au quotidien et montrent qui ils sont. Quelque 239 personnes de toutes les régions du pays ont envoyé 437 images et 60 vidéos dans quatre catégories: objet d'étude, femmes et hommes de science, lieux et outils, et vidéos.

«Les images soumises illustrent la diversité fascinante de la recherche scientifique», note le président du jury du concours, Pascal Hufschmid du Musée de l'Élysée à Lausanne.

Aspect étonnant: aucune microphotographie ne figure parmi les gagnants. «Cela peut paraître surprenant, indique Matthias Egger, président du Conseil de la recherche du FNS. En réalité, ce fait souligne la richesse visuelle et l'étendue de la pratique scientifique d'aujourd'hui.» Les œuvres lauréates ainsi que les soumissions des participants sont disponibles sur www.snf.ch/concours-images.
hpa

Biobanques: des données à partager et à protéger

Les patients mettent volontiers à disposition leurs informations et échantillons biologiques afin de soutenir la recherche. Le cadre juridique doit être clarifié. *Par Irène Dietschi*

Le dernier jour de la session parlementaire de printemps 2017, Rebecca Ruiz dépose une motion: celle-ci demande la création d'une loi sur les biobanques. La conseillère nationale vaudoise fait valoir que ces collections de données et d'échantillons biologiques humains «gagnent rapidement en importance», mais que «le droit applicable présente des lacunes». Sa proposition a reçu le soutien de 23 députés.

Le timing de cette intervention ne doit rien au hasard. Fin mars, une consultation sur un modèle de consentement général élaboré par l'Académie suisse des sciences et de l'association des commissions d'éthique Swissethics arrivait à échéance. Les patients hospitalisés qui signent un tel consentement autorisent l'utilisation de leurs données et échantillons pour des projets de recherche futurs encore inconnus. Les hôpitaux universitaires ont recours à ce type de documents depuis longtemps, mais chaque canton a ses spécificités. Le nouveau formulaire vise à uniformiser la démarche au plan national.

La sécurité des données en question

La situation inquiète les organisations de défense des patients. «Il n'est pas possible que des domaines aussi importants que la recherche biomédicale et le traitement des données et d'échantillons reposent sur une base juridique lacunaire», déclare Franziska Sprecher, professeur de droit à l'Université de Berne et membre du conseil de fondation de l'Organisation suisse des patients. La sécurité des données dans les hôpitaux est insuffisante et, en cas de fuite, rien n'est prévu pour protéger le patient, met-elle en garde.

Pour quelles raisons un consentement général revêt une telle importance pour la recherche biomédicale? «Si l'on veut faire avancer la médecine personnalisée, il faut pouvoir analyser les données d'un grand nombre de personnes», explique Vincent



A l'Hôpital de l'île à Berne, des échantillons biologiques de patients sont scannés avant d'être rangés automatiquement dans une cuve frigorifique à -150 °C. Photo: Insel Gruppe/Pascal Gugler

Mooser, responsable de la biobanque du Centre hospitalier universitaire vaudois (CHUV) qui rassemble des échantillons de sang. Vincent Mooser cite l'exemple de l'étude de cohorte CoLaus lancée en 2003 à Lausanne pour identifier les facteurs de risque cardiovasculaire. Le bilan est positif avec la participation de 6000 patients, mais le CHUV doit coopérer avec d'autres établissements pour obtenir des résultats plus approfondis.

Le consentement général permet par ailleurs d'échanger des données, à l'intérieur de la Suisse, mais aussi avec des laboratoires étrangers. «Nous allons mener des recherches à une tout autre échelle, avance Vincent Mooser. Cela est indispensable si l'on souhaite rester compétitif au niveau international.» D'autres pays, comme les Etats-Unis, le Royaume-Uni, la Chine ou l'Inde, utilisent le big data en médecine depuis longtemps déjà. Le chercheur souligne aussi que le consentement général n'est pas un chèque en blanc. «Pour chaque projet, les chercheurs doivent obtenir l'accord d'une commission d'éthique.»

Les Suisses ne se montrent pas réticents à partager leurs données pour la recherche. Environ trois quarts des patients du CHUV acceptent la démarche, même si leur génome complet se fait analyser: à ce jour, l'institution lausannoise a obtenu le consentement général de 27000 personnes. A l'Hôpital universitaire de Bâle, le

taux de participation est encore plus élevé. Pour Vincent Mooser, il est évident que les données et échantillons correspondant bénéficient des standards de sécurité les plus élevés.

«Si l'on veut faire avancer la médecine personnalisée, il faut pouvoir analyser les données d'un grand nombre de personnes.»

Vincent Mooser

La Swiss Biobanking Platform, qui regroupe les grandes biobanques de Suisse, est également implantée au CHUV. Elle salue la motion de Rebecca Ruiz en faveur de la création d'une loi sur les biobanques. Pour l'heure, l'organisation suit la déclaration de Taipei adoptée par l'Association médicale mondiale en 2016. Le document fixe les règles de base pour l'exploitation des biobanques. Franziska Sprecher voit dans cette adhésion un «signal fort», mais elle demande encore davantage: inclure la déclaration dans le code de déontologie des médecins.

Irène Dietschi est une journaliste libre basée à Olten.

Galaxies citoyennes

La passion de Kevin Schawinski, ce sont les trous noirs et les galaxies. L'astrophysicien rêve d'en analyser des milliards. Pour y parvenir, il compte non seulement sur des télescopes et des ordinateurs surpuissants, mais aussi sur l'aide de milliers d'amateurs. *Par Christian Weber*

Que faire quand vous voulez étudier un million de galaxies mais vous avez d'autres intérêts dans la vie? Kevin Schawinski a 26 ans lorsqu'il a une idée aussi simple que géniale: il met sur pied un réseau de quelques centaines de milliers de bénévoles disposés à effectuer ce travail pour lui pendant leur temps libre.

Ce projet de science citoyenne, Galaxy Zoo, attire la première l'attention des médias sur le doctorant à l'Université d'Oxford. Sa tâche est de classer des galaxies: spirale ou spirale barrée? amas stellaire ou forme encore inconnue? Après une semaine - et 50 000 images classées - il en a assez. Il boit une bière avec un collègue quand il a l'idée d'un site Internet sur lequel chacun peut faire ce travail. Un jour plus tard, les bénévoles catégorisent 70 000 galaxies par heure. Dix ans plus tard, plus de 350 000 scientifiques amateurs contribuent à la plateforme.

«Dans les sciences, il n'y a rien de plus important que la créativité», déclare le Zurichois de 36 ans, aujourd'hui professeur à l'ETH Zurich. Il ne parle pas seulement de l'intuition des chercheurs, mais aussi de l'ouverture d'esprit à de nouvelles méthodes et approches, et de la volonté de regarder ce que font d'autres disciplines. Sa carrière fulgurante, il la doit sûrement aussi à cette curiosité intellectuelle.

Dans son petit bureau vitré sur le campus Höggerberg de l'ETH Zurich, le robot jouet Lilliput NP5357 l'observe depuis une étagère. Sur une table, un livre d'art voisine avec un ouvrage de Sam Harris sur le libre arbitre. «Passionnant! dit le chercheur. Il faut vraiment s'intéresser à tout: philosophie, informatique, neurosciences, politique, économie! Je dis toujours à mes étudiants qu'ils doivent se confronter à ces sujets s'ils veulent réussir au XXI^e siècle.»

La Terre entière dans une bille

L'homme est plutôt austère, mais un brin d'émotion passe dans sa voix suite à une question sur la majesté du ciel étoilé: «Non, je n'ai pas vraiment de lien mystique avec le firmament», répond-il. Les dimensions du cosmos ne l'impressionnent pas non plus outre mesure: «On s'y habitue.» Il avait d'ailleurs confié au New York Times qu'il peut ne pas reconnaître beaucoup plus que la Lune et la constellation d'Orion.

Sa passion a d'autres sources: «Les lois naturelles qui régissent tout ça me fascinent! J'aimerais expliquer par la physique comment une infime fluctuation quantique survenue peu après le Big Bang a pu engendrer une galaxie avec des planètes habitables.» L'astrophysicien s'intéresse en

particulier au rôle joué par les trous noirs se trouvant au centre de toutes les galaxies. Leur masse peut atteindre des milliards de fois celle du Soleil. Transformée en trou noir, la Terre serait plus petite qu'une petite bille. Il pense que les trous noirs ont joué un rôle déterminant dans l'évolution de l'Univers, même si personne ne sait encore lequel.

«Il faut vraiment s'intéresser à tout: philosophie, informatique, neurosciences, politique, économie!»

Kevin Schawinski se dit heureux de «vivre à l'âge d'or de l'astrophysique où chaque nouveau télescope permet de découvrir des phénomènes absolument nouveaux. La science a déterminé l'âge de l'univers à précisément 13,81 milliards d'années; elle a confirmé l'existence de la matière noire.» L'équipe du chercheur zurichois développe de nouvelles approches pour traiter les questions liées aux trous noirs.

Des échelles de temps fondamentalement différentes s'avèrent nécessaires pour comprendre le cosmos, souligne l'astrophysicien. Pour une galaxie, 100 millions d'années représentent une durée normale pour vivre une modification importante. Pour un quasar, quelque chose d'intéressant peut se produire mille fois plus rapidement - sur 100 000 ans.

«La question, c'est comment relier tout cela ensemble et l'intégrer dans nos modèles. Et évidemment trouver le moyen de recueillir des informations sur des durées aussi longues. Nous créons des modèles et nous posons des questions: qu'est-ce qui marche? où est-ce que ça coïncide?» Les chercheurs peuvent observer les échos d'événements passés: la lumière du quasar situé au cœur de notre galaxie, la Voie lactée, prend plusieurs dizaines de milliers d'années pour parvenir jusqu'à nous.

Une nouvelle raison de se réjouir pour l'astrophysicien: le lancement du télescope spatial James Webb prévu pour 2018. Ce nouvel outil permettra de regarder encore plus loin dans le passé, de quoi «provoquer une révolution scientifique», glisse le chercheur qui se dit bien conscient des problèmes de ce genre d'instruments: «Les coûts du projet approchent déjà les 9 milliards de dollars. Il faut évidemment les justifier.» L'astrophysicien se démène pour partager avec le public sa fascination pour le cosmos et le convaincre de l'importance de ces connaissances. Il s'engage dans des

festivals de science, met des vidéos sur YouTube et a posté plus de 22 500 messages sur Twitter.

Sa discipline ne peut pas uniquement compter sur des télescopes toujours plus puissants et plus chers, souligne Kevin Schawinski. Il mise sur la collaboration avec les informaticiens: à l'avenir, des réseaux neuronaux d'intelligence artificielle analyseront les données et classeront les galaxies (voir «La science augmentée», p. 13). Et les citoyens chercheurs, ces amateurs qui contribuent avec enthousiasme à Galaxy Zoo? «Ils resteront utiles, répond le professeur. En créant des fiches d'exercice pour les ordinateurs: de petits groupes de galaxies déjà identifiées qui enseigneront à l'intelligence artificielle comment les reconnaître de manière automatique. Nous pourrions alors étudier non pas des millions, mais des milliards de galaxies.»

Le journaliste scientifique Christian Weber écrit notamment pour la Süddeutsche Zeitung.

Une carrière fulgurante

L'astrophysicien Kevin Schawinski est le fils de Roger Schawinski, journaliste et pionnier des radios et télévisions privées. Né à Zurich, il a étudié la physique et les mathématiques à l'Université Cornell dans l'Etat de New York, et a fait son doctorat en astrophysique au Christ Church College de l'Université d'Oxford. Après un séjour de recherche à l'Université Yale, il est revenu en Suisse en 2012 comme professeur boursier FNS à l'ETH Zurich. Il est âgé de 36 ans.

La musique du corps

Des chercheurs zurichoïses mesurent les infimes vibrations perçues inconsciemment par les musiciens. Ces travaux améliorent les pianos électriques et pourraient bénéficier aux interfaces tactiles. *Par Roland Fischer*

Le son d'un instrument de musique est avant tout destiné aux oreilles. Mais cette vibration est également perçue par le corps, ce que les experts appellent le «retour haptique». Matthias Flückiger de l'ETH Zurich essaie de le mesurer directement sur les instruments de musique.

«Jouer de la musique ne passe pas uniquement par l'ouïe. Il s'agit d'une interaction complexe de différents sens», explique le doctorant. Il cherche à mieux comprendre ces interactions et l'importance des facteurs individuels, en particulier le retour vibrotactile. Il a équipé des instruments de multiples capteurs ultrasensibles qui mesurent le jeu du musicien, la position des doigts et la pression exercée. La réaction de l'instrument est pilotée au moyen d'actuateurs, des petits éléments qui produisent eux-mêmes des variations. Ainsi, Matthias Flückiger peut étudier ce qui se passe quand les vibrations de l'instrument changent.

Stefano Papetti de la Haute école d'Art de Zurich (ZHdK) travaille également sur le sujet. Il a équipé un piano numérique d'actuateurs pour lui donner une caisse de résonance virtuelle. Les actuateurs reproduisent les vibrations qu'il a enregistrées sur un piano acoustique, touche par touche. Le chercheur a ensuite demandé à des musiciens professionnels de jouer sur le piano numérique, sans qu'ils en connaissent les spécificités, et de faire part de leur sentiment subjectif. Ils disent avoir constaté un effet positif, sans toutefois réussir à l'expliquer. Après avoir montré

aux professionnels comment le piano était préparé, certains ont eu une révélation: ils n'étaient pas conscients que leur instrument vibrait et qu'ils percevaient ces vibrations par le toucher. Stefano Papetti veut maintenant poursuivre ces recherches en collaboration avec l'Integrated Actuators Laboratory de l'EPFL.

Améliorer les interfaces tactiles

L'importance du retour haptique concerne de nombreuses interactions entre machines et humains. «Nous vivons dans un monde dominé par le visuel, raison pour laquelle la plupart des interfaces sont conçues pour les yeux, poursuit Stefano Papetti. Pourtant, le toucher est un moyen beaucoup plus subtil de donner un feedback à l'utilisateur.» Et de citer l'exemple du nouveau trackpad d'Apple qui active des vibrations afin de créer l'illusion que la surface se creuse sous la pression du doigt.

«Jouer de la musique ne passe pas uniquement par l'ouïe.»

Matthias Flückiger

Stefano Papetti et son équipe de la ZHdK avaient étudié précédemment le rôle du retour haptique dans l'apprentissage et le jeu d'un instrument de musique. Ils avaient construit un appareil pour mesurer quelles vibrations une personne est capable de percevoir. Lui-même pianiste d'un niveau

«convenable», l'ingénieur en informatique a participé au projet de recherche européen Natural Interactive Walking. Son objectif était de transmettre des informations non par les sens habituels, mais par les pieds. Dans ce cadre, l'ingénieur avait co-développé des chaussures munies de petits vibrotacteurs capables de simuler différentes qualités de sols lors de la marche.

Les résultats ont remis en question les opinions préalables: les humains perçoivent des vibrations des plus subtiles. A l'aide d'un appareil de retour haptique, une petite boîte avec une surface pour les doigts, Stefano Papetti a établi que les valeurs seuils de stimulus pour un retour vibrotactile sont bien plus basses que celles trouvées dans la littérature. Cette découverte pourrait avoir de l'importance pour des applications futures, estime le chercheur. Puisque nous discernons des impulsions très fines, les interfaces tactiles peuvent être moins grossières.

«Le sens du toucher est la forme la plus intime d'interaction», souligne Stefano Papetti. Il serait dès lors dommage de ne pas l'inclure aux machines.

Roland Fischer est un journaliste scientifique indépendant basé à Berne.

S. Papetti et al.: Vibrotactile Sensitivity in Active Touch: Effect of Pressing Force. IEEE Transactions on Haptics. (2017) DOI: 10.1109/TOH.2016.2582485



A l'aide d'un accéléromètre, les chercheurs mesurent systématiquement les vibrations des touches d'un piano. Ils peuvent ainsi les reproduire sur un instrument électronique. Photo: Stefano Papetti

Le stockage informatique réduit à un seul atome

Des scientifiques de l'EPFL et d'ETH Zurich tentent de miniaturiser à l'extrême les supports de l'information. Leurs derniers résultats le montrent: il est possible d'enregistrer une information sur un seul atome.

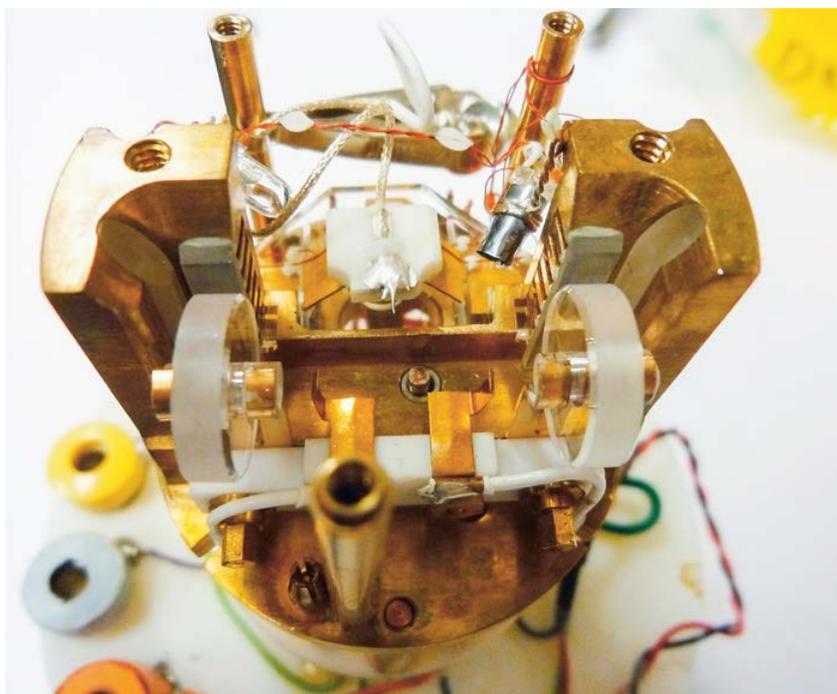
Par Olivier Dessibourg

Où stocker les amas de données numériques générées au quotidien? Les systèmes actuels ne suffiront bientôt plus. La loi de Moore, qui décrit le doublement tous les 18 mois du nombre de transistors sur une puce électronique, commence à être remise en question. «En principe, on peut encore imaginer une vingtaine d'étapes avant d'arriver enfin à la brique ultime de la matière: l'atome. Ce qui prendrait de trente à quarante ans d'ingénierie de miniaturisation», dit Christopher Lutz, physicien chez IBM à Almaden (Etats-Unis). Ce pas final vient d'être franchi, en une seule fois. Un vrai jalon dans un domaine de recherches en pleine expansion.

En 2016, les équipes de Pietro Gambardella à l'ETH Zurich et d'Harald Brune à l'EPFL avaient montré que des atomes d'holmium - un métal du groupe des terres rares - pouvaient manifester sur une surface particulière une certaine «rémanence magnétique». Cette aimantation ouvrait la possibilité d'y enregistrer une information. Restait à faire la démonstration d'écriture et de lecture sur des atomes uniques. C'est ce qu'ont réalisé Christopher Lutz d'IBM et Fabian Natterer, chercheur au sein du groupe d'Harald Brune.

Un atome, un bit

On peut inscrire une donnée sur un atome si l'on est capable d'orienter son aimantation dans un sens ou dans l'autre, comme vers le haut ou le bas. C'est le même principe à l'œuvre dans les disques durs, qui enregistrent des données codées par des bits (des 0 et des 1). «Nous avons utilisé un microscope à effet tunnel à balayage, ou STM», explique Fabian Natterer. Une infime pointe survolant une surface peut la caractériser avec une précision atomique. Affublé d'un atome de fer, l'apex a fait passer à travers les atomes d'holmium un minuscule courant électrique polarisé. Mais assez fort pour orienter le moment magnétique de ces derniers et y enregistrer un bit. «Et cela de manière pérenne», souligne Christopher Lutz.



C'est avec ce microscope à effet tunnel que les chercheurs ont enregistré un bit dans un atome. La pointe du microscope se trouve dans la protubérance métallique en iridium, au milieu de l'image. Photo: IBM Research, Fabian Natterer

La lecture de l'information passe par deux méthodes, poursuit le physicien d'IBM. «La première recourt également à un courant, qui circule plus ou moins bien en fonction de l'état magnétique de l'atome d'holmium, donc de l'information qu'il porte. La seconde méthode permet de ressentir à distance le champ magnétique causé par l'atome d'holmium.»

Ces technologies de laboratoire sont complexes, avec de fortes contraintes. «Le tout ne fonctionne qu'à moins de 4°K (-269°C) et dans un ultra-vide», poursuit le chercheur. «Le système est très sensible, car les atomes d'holmium peuvent bouger en surface», ajoute Pietro Gambardella de l'ETH Zurich. Si bien que les physiciens poursuivent également d'autres voies pour imprégner des données sur des entités atomiques.

L'information moléculaire

Une autre approche vise à rendre des molécules aimantées. «Nous utilisons un complexe de dysprosium (Dy), également une terre rare, explique Florian Allouche, chimiste à l'ETH Zurich. Cette molécule ne présente a priori pas d'effet mémoire. Mais si on la greffe sur de la silice et qu'on lui fait subir un traitement chimique afin d'obtenir des atomes de Dy électriquement chargés (ions) et dispersés en surface,

ces derniers présentent une rémanence magnétique à basse température.» Les avantages de cette technique? «La simplicité de préparation et de caractérisation, et les possibilités de réplique sur d'autres surfaces.» L'inconvénient? «Pour l'heure, le manque d'une structure exacte pour les sites magnétiques.»

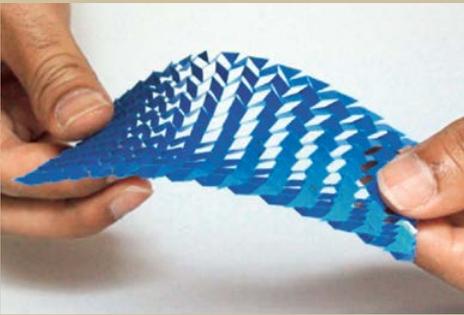
Tous ces scientifiques en conviennent: les systèmes actuels de stockage ne vont pas être remplacés demain par les mémoires atomiques. «Mais la preuve de principe est là», rétorque Christopher Lutz. Par ailleurs, «cette découverte servira à étudier la matière au niveau atomique, dit Fabian Natterer. Et le contrôle du magnétisme à cette échelle pourrait générer des matériaux exotiques». Pietro Gambardella, lui, voit des applications dans le champ des ordinateurs quantiques. Pour Christopher Lutz, «notre travail consiste à faire un bond aussi grand que possible dans le futur».

Le journaliste scientifique suisse Olivier Dessibourg travaille à Paris.

F. D. Natterer et al.: Reading and writing single-atom magnets. Nature (2017)

F. Allouche et al.: Magnetic Memory from Site Isolated Dy(III) on Silica Materials. ACS Central Science (2017)

Ahmad Rafsanjani and Katia Bertoldi / Harvard University, photo Shima Asa



Grâce aux découpes, la feuille de plastique peut soutenir une pièce de 5 francs.

Le kirigami inspire les ingénieurs

L'origami, ou l'art japonais du pliage, a déjà conduit à des prototypes d'airbags, de sondes chirurgicales ou de robots reconfigurables. Mais le pliage d'éléments rigides n'est pas une opération triviale, surtout au moment de passer à la phase industrielle. Au contraire, le kirigami ne présente pas cette difficulté. Il s'agit également de transformer une feuille de papier en structure tridimensionnelle, mais en découpant la surface. Depuis peu, cet art traditionnel intéresse les ingénieurs.

Ahmad Rafsanjani, chercheur à Harvard et boursier du FNS, a développé un modèle informatique qui permet de mieux prédire l'effet des découpes sur les matériaux. «Notre objectif est de contrôler les déformations en jouant sur le dessin formé par les entailles», explique l'ingénieur. Le modèle simule le résultat obtenu en variant les paramètres: la répartition des coupes, le matériau, son épaisseur et la tension appliquée.

La démonstration du chercheur est éloquent: il étire une feuille de polyester parcourue d'entailles disposées selon des motifs géométriques: une forme tridimensionnelle se déploie, faite de vallées et de collines. S'il applique une force suffisante, le matériau se fige définitivement dans sa nouvelle forme. Une propriété intéressante, due sans doute à une modification de la structure du matériau.

Ahmad Rafsanjani compte désormais s'orienter vers des applications concrètes. Il envisage des pièces mécaniques dont la friction serait modulable à l'envi. «Nous pourrions imaginer des pneus intelligents, dont le profil s'adapte aux conditions de terrain ou de température. La robotique reconfigurable en profiterait aussi. Par exemple avec des systèmes bio-inspirés qui modulent leur adhérence selon le type de sol, un peu comme les écailles ventrales des serpents.» *Lionel Pousaz*

A. Rafsanjani and K. Bertoldi: Buckling-Induced Kirigami. *Physical Review Letters* (2017)

Un laboratoire sur puce imprimé au jet d'encre

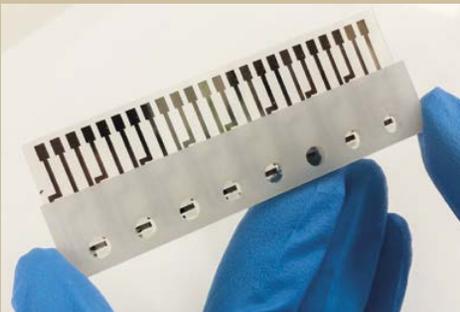
Une équipe de l'EPFL a imprimé au jet d'encre des micro-capteurs électrochimiques, utiles pour développer des plateformes d'analyse biochimique portables et bon marché. Ces outils peuvent par exemple analyser le sang au chevet des patients ou améliorer les capacités de diagnostic dans des régions décentralisées.

Le projet mené au Laboratoire d'électrochimie physique et analytique de l'EPFL de Sion (VS) a développé l'impression de plaques microtitrage, composées de minuscules puits pour l'introduction d'un échantillon. Elles sont destinées aux immunoessais électrochimiques, capables d'identifier des composants tels que les hormones ou les pesticides, dans le sang, l'urine ou l'eau potable. «Nous avons imprimé des micro-capteurs électrochimiques au jet d'encre, explique Milica Jovic, collaboratrice scientifique du projet. Ils sont constitués de huit cellules électrochimiques indépendantes, qui utilisent des nanotubes de carbone comme électrodes.» Des puits en plastique ont été combinés à la plaquette imprimée, formant un dispositif directement utilisable sur un potentiostat miniaturisé – un appareil électronique permettant de lire les signaux électrochimiques.

Les chercheurs ont testé leur technologie avec la détection d'une hormone (la thyroestimuline) et d'un pesticide (l'atrazine). «Les résultats sont d'une grande précision, souligne son collègue Andreas Lesch. La technologie la plus utilisée actuellement pour produire les capteurs, la sérigraphie, est moins flexible, prend plus de temps, utilise davantage de matériel et donne des résultats moins fiables.» En phase de création, la startup SensàSion veut commercialiser la technologie valaisanne. *Geneviève Ruiz*

M. Jovic et al.: Inkjet-printed microtiter plates for portable electrochemical immunoassays, *Journal of Electroanalytical Chemistry* (2017)

Andreas Lesch, EPFL



Huit puits et 24 électrodes pour identifier des composants biochimiques.



Urs Graf

Davantage de fronts intenses et pluvieux traversent l'Europe en été et automne.

Des pluies plus fortes

Des fronts météorologiques venus de l'Atlantique provoquent fréquemment de fortes pluies en Suisse. Une nouvelle étude pourrait expliquer leur intensification. Des spécialistes des universités de Bergen et de Berne, d'ETH Zurich et de l'office de l'environnement de Rhénanie-Palatinat ont étudié la formation des fronts sur l'Europe centrale de 1979 à 2013. Ils ont évalué les températures et l'humidité, puis ont combiné les observations réalisées à l'aide de satellites et de navires avec des simulations informatiques. «La quantité des fronts n'a pas changé, mais la proportion de cas forts ou extrêmes a significativement augmenté au-dessus de l'Europe», explique Sebastian Schemm, auteur principal de l'étude. Une tendance analogue a été enregistrée en Amérique du Nord.

Ce résultat pourrait expliquer pourquoi les très fortes précipitations se sont multipliées dans certaines régions d'Europe centrale au cours des dernières années. La force d'un front influence directement l'intensité des pluies qu'il amène. L'évaluation des données montre que cette évolution résulte d'une augmentation de l'humidité.

L'étude ne permet pas de dire si le changement climatique joue un rôle. «La fenêtre d'observation est trop courte et il faudrait procéder à des analyses statistiques plus fines», indique Sebastian Schemm. Il peut tout aussi bien s'agir d'une fluctuation normale sur plusieurs décennies. *Yvonne Vahlensieck*

S. Schemm et al.: Increase in the number of extremely strong fronts over Europe? A study based on ERA-Interim reanalysis (1979–2014). *Geophysical Research Letters* (2017)

La route des épices et celle du charbon

De l'anis étoilé à la briquette de charbon, l'ethnologue Annuska Derks fait parler les objets quotidiens de l'Asie du Sud-Est en suivant les chemins qu'ils prennent à travers la société.



« Au Vietnam, les briquettes de charbon font partie du quotidien. Mais un objet si répandu n'apparaît pas par hasard: il est produit, transporté, manipulé et relie de la sorte plusieurs univers. J'ai suivi le parcours de ces briquettes depuis l'extraction du charbon jusque dans les foyers et les cuisines de rue. J'ai parlé à plus de cent personnes rencontrées dans les mines à ciel ouvert et des ateliers au bord du fleuve Rouge, ainsi que dans le trafic chaotique d'Hanoï où se faufilent les vélos des marchands qui transportent les briquettes, à côté des marmites sous lesquelles elles finissent par brûler.

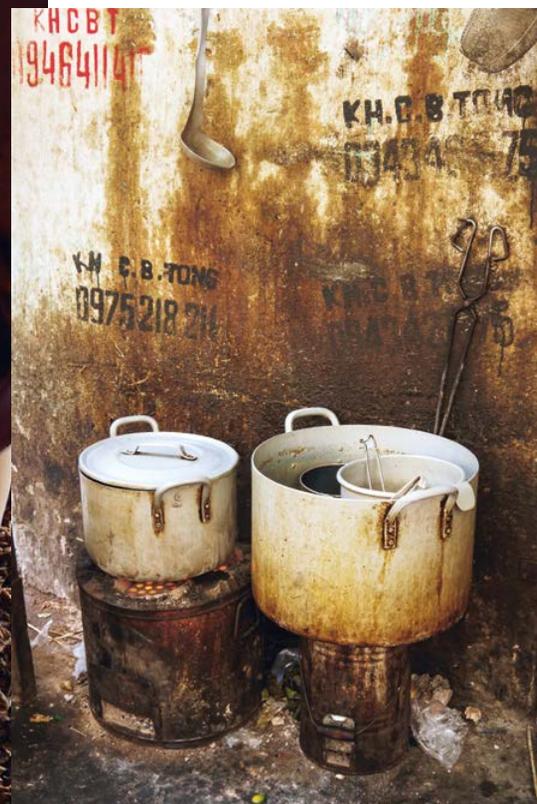
Ma recherche part de l'objet: la briquette de charbon représente une fenêtre pour analyser la société vietnamienne. J'ai beaucoup appris sur les relations entre l'Etat et le secteur privé, sur les liens entre l'organisation domestique, le genre et l'architec-

ture, ou encore sur l'essor de la croyance religieuse. J'ai pu constater que des processus abstraits comme l'urbanisation, le développement économique ou la modernisation – et les inégalités qui en découlent – s'observent jusque dans les cuisines.

Les briquettes ne remplacent le bois que depuis les années 1980, lorsque le gouvernement a décidé d'agir contre la déforestation. Elles sont rapidement devenues populaires, car elles conviennent à des poêles que l'on peut emporter et installer partout. Mais leur image a changé encore une fois depuis: elles ont désormais la réputation de nuire à l'environnement.

Récupérer et revaloriser

Un seul objet permet d'observer la société dans son ensemble, avec quelques surprises. Les briquettes ne sont par exemple jamais achetées le premier jour du calen-



L'anis étoilé est cultivé sur les hauts plateaux vietnamiens, trié à la main et vendu dans la plaine.

A droite: ces réchauds traditionnels utilisent du charbon récupéré et compressé.

Photos: Annuska Derks

drier lunaire, ce qui porte malheur selon le principe du Yin et du Yang.

Au Vietnam, un pays socialiste, les mines de charbon appartiennent à l'Etat qui en exporte la plus grande partie. A côté de l'exploitation officielle, le charbon est rincé par la pluie dans l'environnement, ou tombe durant le transport. Ces morceaux de moindre qualité sont ramassés, surtout par des femmes, puis pressés dans des petits ateliers et des entreprises familiales. Le produit final est un cylindre de charbon typique que les locaux appellent «une ruche». Les revendeurs passent chercher ces briquettes avec des vélos transformés ou, depuis peu, avec des scooters. Je les ai accompagnés chez leurs clients. Autant les hommes que les femmes négocient l'achat de ces briquettes.

J'ai eu l'idée du projet «Anis étoilé» avec une collègue de l'Université McGill de Mon-

tréal. Elle mène des recherches dans les hauts plateaux vietnamiens, tandis que mon projet sur le charbon est implanté dans la plaine. Il nous est apparu que les épices réunissent ces deux régions. Elles sont cultivées et récoltées dans la première, puis transportées dans la seconde où elles sont vendues, transformées ou encore exportées vers l'Inde ou la Chine. La cuisine vietnamienne emploie aussi de l'anis étoilé, notamment pour la traditionnelle soupe pho.

L'épice contre la grippe

L'anis étoilé permet d'observer les développements économiques et sociaux du Vietnam. Depuis les réformes de 1986, leur prix a nettement augmenté, ce qui a des conséquences importantes sur les régions où elles sont cultivées. L'industrie pharmaceutique s'intéresse aussi à l'épice, qui contient de l'acide shikimique, le compo-

sé actif du médicament contre la grippe Tamiflu. L'épidémie de grippe aviaire de 2005 a généré une forte augmentation de la demande de l'anis étoilé et donc de son prix. Celui-ci a ensuite chuté, car d'autres médicaments contre la grippe sont arrivés sur le marché, et l'industrie pharmaceutique peut désormais produire de l'acide shikimique de manière artificielle. Pour les Vietnamiens, ces changements globaux ont eu des répercussions concrètes: certains paysans avec lesquels j'ai parlé ont cessé de récolter cette épice, une activité trop laborieuse.»



Propos recueillis par Anne-Careen Stoltze



Bonne humeur malgré des situations de stress: des chercheurs bernois filment des couples pour analyser leurs interactions. Photo: Manu Friederich

Les petits secrets des couples heureux

Chacun donne volontiers son avis sur l'amour et la vie de couple. L'observation des partenaires en laboratoire et des questionnaires offrent des réponses plus fondées.
Par Susanne Wenger

Une relation de couple complice et épanouissante, si possible pour toute la vie... Malgré la hausse du nombre de divorces et une société de plus en plus individualiste, la plupart des êtres humains aspirent à cet idéal. D'un point de vue historique, la notion de partenariat fondé sur l'amour n'est apparue qu'au XIXe siècle.

La recherche sur le sujet est encore plus récente: ce n'est qu'à partir des années 1970 que des scientifiques se sont penchés sur les facteurs qui rassemblent ou divisent les couples. Auparavant, la séparation n'était simplement pas une option. Les couples restaient ensemble pour des raisons économiques et de conventions sociales et religieuses.

Les choses sont bien différentes actuellement. Qu'il serait pratique de connaître la formule scientifique du bonheur en amour! Mais la recherche ne parvient à répondre à ce défi que de manière partielle. «La phase

de sentiment amoureux dure en général six mois», indique Alexander Grob, professeur de psychologie développementale et de la personnalité à l'Université de Bâle. Passé cet aveuglement initial, on voit l'élue de son cœur sous un jour bien plus réaliste, et «tout devient incroyablement complexe». Suivant les constellations, les interactions les plus variées sont possibles.

Ne pas imaginer le pire

La personnalité constitue un facteur déterminant. Alexander Grob a étudié le lien entre caractère et sentiment positif dans une relation amoureuse. «Les personnes émotionnellement stables, extraverties, consciencieuses, sociables et ayant une bonne estime d'elles-mêmes vivent mieux en couple.» A l'inverse, celles d'humeur instable, d'un naturel tendu et anxieux - des traits rassemblés en psychologie sous la notion de «neuroticisme» - connaissent moins le bonheur amoureux.

Peut-on en déduire que les nerveux, les timides et les introvertis ont de mauvaises cartes en main? Le psychologue répond par la négative. «Nous ne sommes pas à la merci de notre personnalité. Il est possible de modifier notre manière de penser et d'agir.» Par exemple, les personnes qui imaginent toujours le pire en cas de situation équivoque - «Il/elle ne m'aime plus!» - peuvent prendre conscience de ce comportement et tenter d'en changer. «Lorsque les interprétations négatives diminuent, la stabilité émotionnelle augmente.» Et permet de vivre la relation amoureuse de manière plus harmonieuse.

Le regard aimant de notre partenaire révèle notre potentiel inexploité.

Les conjoints évoluent au contact l'un de l'autre. Un individu avec un faible amour-propre s'évalue de manière plus positive sur le long terme lorsqu'il est en couple avec un individu joyeux, explique Alexander Grob. Une équipe de chercheurs réunis autour du psychologue américain Eli Finkel va encore plus loin: les couples qui se soutiennent mutuellement pour faire apparaître le meilleur dans chacun vivent ensemble particulièrement longtemps et heureux, ce qu'ils appellent «l'effet Michel-Ange». Le sculpteur de la Renaissance défendait l'idée que dans chaque bloc de marbre sommeille une œuvre d'art qu'il suffit de révéler en ciselant et en polissant la pierre. Dans un contexte de relation amoureuse, cela signifie qu'il faut s'encourager mutuellement pour aider son partenaire à atteindre ses idéaux et ses objectifs de vie. Cette démarche repose sur l'empathie et la sensibilité, et celui qui la suit dans son couple devient le meilleur sculpteur ou la meilleure sculptrice de la relation.

Vivre en couple nous permet d'en apprendre du nouveau sur nous-même. Le regard aimant de notre partenaire révèle le potentiel inexploité qui sommeille en nous. En revanche, vouloir changer la personne qui partage son existence ne fonctionne jamais, souligne Alexander Grob. «Si quelque chose ne me plaît pas chez mon partenaire, la seule chose que je puisse influencer est ma manière d'appréhender cet aspect de sa personnalité.» Dans un tel cas de figure, il faut se demander comment composer avec cette caractéristique dérangeante, voire si cela nous est même possible.

Petits gestes, grands effets

La manière dont un couple communique influence son destin, note Nathalie Meuwly, psychologue à l'Université de Fribourg: «Les couples qui se parlent avec compréhension et bienveillance sont plus heureux et plus stables.» Des échanges, une écoute attentive, des compliments ou encore des petits gestes d'attention contribuent grandement à consolider une relation amoureuse, et il est bon de les cultiver malgré le train-train quotidien, note la chercheuse. Et il ne faut pas oublier que la tendresse et l'érotisme constituent aussi une forme de communication. Le sexe crée de l'attachement, sans beaucoup de mots.

Une communication positive n'exclut pas pour autant d'aborder des sujets difficiles et d'exprimer des critiques. Un conflit de temps à autre ne fait pas de mal, aussi longtemps qu'il ne bascule pas dans la destruction et le mépris, poursuit Nathalie Meuwly. «Cela permet de clarifier sa position et donne la possibilité de se réconcilier.» Ainsi, la compréhension et l'intimité dans le couple peuvent prendre un nouveau départ. Mais attention, il convient de trouver le bon équilibre. Le pionnier des recherches sur les relations amoureuses, l'Américain John Gottman, a montré que cinq gestes positifs pèsent autant qu'un geste négatif. Celui qui critique son partenaire une fois devrait donc lui montrer cinq fois son affection pour maintenir la relation en bonne voie.

Deux facteurs supplémentaires jouent un rôle important, poursuit Nathalie Meuwly. Réussir à se soutenir mutuellement en cas de stress - par exemple lié au travail - a un rôle stabilisateur sur la relation amoureuse. On constate le même effet positif dans les couples qui parviennent à résoudre ensemble les problèmes et les conflits. «Des compétences différentes sont nécessaires selon que les tensions proviennent du couple ou d'une source extérieure», explique Nathalie Meuwly. Sur ce point, la psychologue n'a constaté que de petites différences entre les femmes et les hommes. Les premières soutiennent leur partenaire également lorsqu'elles sont elles-mêmes stressées, chose pour laquelle les seconds ont moins d'aptitudes. Ce qui implique que «la relation se trouve en danger lorsque les deux sont stressés».

De nombreux sujets restent à explorer dans le domaine des relations amoureuses. Il n'existe par exemple qu'un nombre restreint d'études sur les couples âgés ou de même sexe. Mais la science peut déjà apporter une aide concrète. Depuis plusieurs années, l'Université de Zurich propose avec succès le programme «Paarhilfe» (Aide au couple), développé par Guy Bodenmann. Selon le professeur de psychologie clinique, l'amour est comme une petite plante: il faut le nourrir, faute de quoi il dépérit.

Susanne Wenger est journaliste libre à Berne.

R. Weidmann, Th. Ledermann, A. Grob: The Interdependence of Personality and Satisfaction in Couples. *European Psychologist* (2016)
G. Bodenmann, N. Meuwly et al.: Effects of Stress on the Social Support Provided by Men and Women in Intimate Relationships. *Psychological Science Online First* (2015)

Mesurer l'amour

La recherche utilise diverses méthodes pour étudier le couple. Les conjoints peuvent être interrogés au moyen de questionnaires sur leur personnalité, leur relation avec leur partenaire et leur niveau de satisfaction. Les chercheurs leur demandent parfois de tenir un journal. Une autre méthode consiste à donner une consigne aux participants de l'étude, par exemple raconter un événement qui les a affectés au cours des jours précédents, et à filmer leur manière de communiquer sur le sujet. La psychologue Nathalie Meuwly a mené une expérience en laboratoire dans laquelle elle a placé des couples en situation de stress: les partenaires devaient participer séparément à un entretien d'embauche et résoudre un problème mathématique. Ils étaient ensuite rassemblés dans une salle d'attente où les chercheurs ont filmé leurs réactions spontanées. Ils ont également mesuré des valeurs physiologiques telles que la quantité de cortisol, l'hormone du stress, ainsi que la fréquence cardiaque.

Une machine à l'écoute

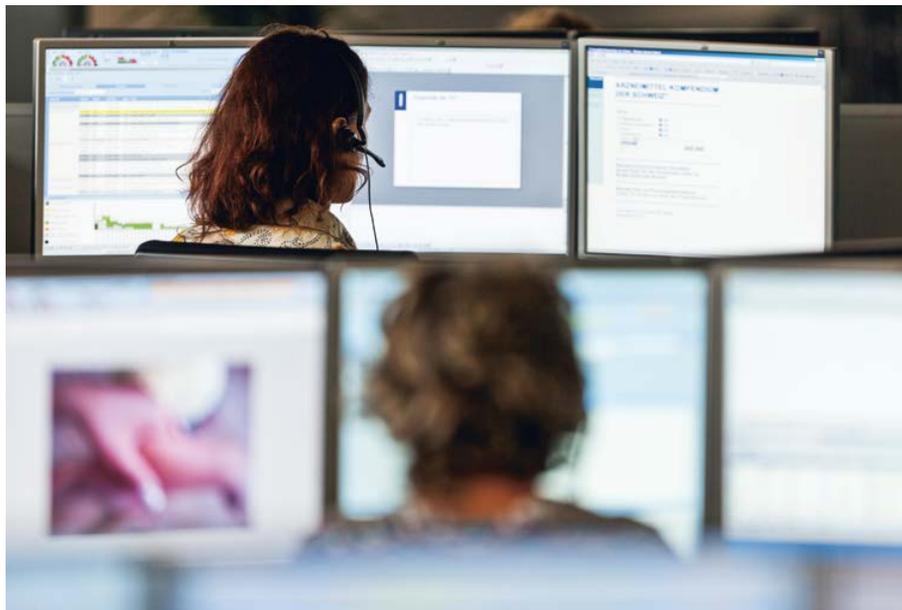
Des algorithmes apprennent à reconnaître les émotions dans notre voix. Principal défi: fonctionner en dehors du laboratoire. *Par Sophie Gaitzsch*

C'est souvent un serveur vocal qui nous répond lorsqu'on appelle sa banque ou son assurance. Pendant de longues minutes, il nous demande de choisir entre des options qui ne semblent pas toujours des plus pertinentes. Résultat: on soupire, on marmonne quelques jurons, on interpelle le système. Et là, comme par enchantement, un opérateur prend l'appel. Un hasard? Pas forcément: des programmes dopés à l'intelligence artificielle sont désormais capables de reconnaître les émotions, ce qui permet aux entreprises d'adapter leurs services en conséquence.

Sascha Frühholz, professeur de psychologie spécialisé dans les neurosciences à l'Université de Zurich, travaille sur la détection automatique des émotions dans la voix: «Les algorithmes sont de plus en plus efficaces, surtout pour discerner les six émotions de base que sont la colère, la peur, la joie, le dégoût, la tristesse et la surprise. Percevoir la honte ou la fierté est plus complexe pour les ordinateurs. Comme pour les humains d'ailleurs.»

Le principal défi pour ces systèmes est de se montrer suffisamment généralistes. «Ils sont entraînés sur des données spécifiques, explique Sascha Frühholz. Leur performance baisse lorsqu'ils travaillent dans un environnement acoustique différent ou dans une autre langue. Si l'algorithme apprend à reconnaître la colère dans des voix zurichoises, il obtiendra probablement de moins bons résultats avec des voix genevoises. Sa pertinence continuera de diminuer face à une langue tonale asiatique, dont le profil acoustique est plus éloigné encore.»

Pour surmonter cet écueil, Sascha Frühholz a mêlé des techniques d'apprentissage supervisé et non supervisé. «Concrètement, nous avons entraîné l'algorithme avec des données labellisées qui indiquent que telle voix est en colère ou joyeuse. Nous avons ensuite introduit des données non labellisées, ce qui a permis de le rendre plus indépendant.»



Contrairement à ces téléphonistes, les serveurs vocaux automatiques ne perçoivent pas l'impatience des clients – du moins pour l'instant. Photo: Keystone/Martin Ruetschi

Le taux de reconnaissance atteint 63%, sensiblement meilleur qu'avec l'utilisation indépendante de l'apprentissage supervisé ou non supervisé (taux entre 54% et 58%). Les êtres humains sont, eux, capables de détecter de manière correcte une émotion dans la voix d'un interlocuteur dans 85 à 90% des cas, note Sascha Frühholz, qui travaille également sur la perception auditive humaine. «Le niveau de reconnaissance dépend - autant pour les algorithmes que pour les humains - en grande partie du nombre d'émotions qui doivent être distinguées simultanément.»

Déceler la dépression

La reconnaissance automatique des émotions trouve des applications potentielles dans de nombreux domaines: services à la clientèle, marketing, surveillance, aide aux personnes âgées ou encore médecine. «Elle pourrait notamment aider à repérer les premiers signes d'une crise d'angoisse ou d'une dépression», indique David Sander, directeur du Pôle de recherche national «Sciences affectives» ainsi que du centre interfacultaire dédié à ce domaine à l'Université de Genève.

A l'EPFL, Jean-Philippe Thiran mène des recherches sur la reconnaissance visuelle des expressions du visage, en partenariat avec l'industrie automobile, un autre secteur qui s'intéresse de près à la détection des émotions. «L'objectif consiste à ras-

sembler des informations sur la personne au volant. Dans un contexte de voiture semi-autonome par exemple, il est primordial de savoir dans quel état émotionnel l'automobiliste se trouve au moment où le véhicule doit lui repasser la main: s'il est stressé, s'il est apte à prendre une décision.» La voiture pourrait diffuser une musique apaisante à un conducteur énervé ou intensifier la luminosité du tableau de bord en cas de coup de fatigue.

«La détection des expressions faciales dans des conditions peu favorables, lorsque le visage est mal éclairé, qu'il bouge ou qu'il n'est pas de face, constitue aujourd'hui les principaux enjeux de recherche, note Jean-Philippe Thiran. Tout comme la reconnaissance d'expressions plus subtiles ou individuelles.» Les algorithmes progressent rapidement, mais ne sont pas encore capables d'interpréter dans une situation réaliste toutes les émotions exprimées par notre voix et notre visage.

Sophie Gaitzsch est une journaliste suisse basée à Paris.

Maryline Gaucher



Comment se construit le vivre-ensemble dans un quartier comptant 60% d'étrangers?

La stabilité des quartiers

La mixité d'un quartier entrave-t-elle la stabilité sociale ou est-ce qu'elle la favorise? C'est la question principale posée par un projet de recherche genevois achevé en 2016 après quatre ans de travaux. Les chercheurs se sont concentrés sur trois quartiers de Genève (Pâquis, Eaux-Vives, Jonction), qu'ils ont comparés à ceux de Belleville à Paris, Agios Panteleimonas à Athènes et Saint-Gilles à Bruxelles.

«Nous voulions des quartiers mixtes, avec la présence de groupes ayant des histoires migratoires différentes, mais sans qu'aucun d'entre eux ne domine», indique l'anthropologue Alessandro Monsutti, de l'Institut de hautes études internationales et du développement à Genève.

On pourrait penser que la mixité et son brassage d'individus qui entretiennent des liens transnationaux «tue» les quartiers. «Est-ce que les «circulants» s'investissent tellement peu dans les lieux que ceux-ci disparaissent?» formule autrement Alessandro Monsutti. La situation est plus nuancée. Pour commencer, «le lieu dans lesquels les gens s'investissent n'est pas toujours la ville, ni même le quartier, mais souvent la rue».

En outre, ceux qui habitent un quartier ne sont pas forcément ceux qui y résident, mais ceux qui y sont visibles et qui s'y impliquent, comme les commerçants. Et c'est par la familiarisation avec ces personnes que l'identification se construit. L'environnement bâti joue aussi un rôle. D'où une mise en garde: pour éviter le risque de créer dépaysement et insécurité, toute transformation d'un quartier doit être expliquée de manière proactive. *Benjamin Keller*

P. Gazagne et al.: Connivences et antagonismes en milieu urbain. Regards anthropologiques sur Genève. Sociograph n° 26 (à paraître)

Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze, CF990297696

Leçons de politesse

Une conversation réussie ne doit être ni trop douce ni trop forte; elle doit porter sur un sujet ni trop sérieux ni trop triste. Telles sont les règles énoncées dans un manuel de bonne conduite italien du XIXe siècle. Le genre a connu son âge d'or entre 1800 et 1920, une époque de grands changements sociétaux. Quelque 186 livres furent alors imprimés, dans au moins 450 éditions: des ouvrages bon marché sur du mauvais papier pour les écoliers et les classes populaires, de luxueux manuels d'étiquette pour les classes aisées.

La linguiste Annick Paternoster et Francesca Saltamacchia de l'Université de la Suisse italienne ont étudié les règles et les formules de politesse dans les cinquante livres les plus répandus, sélectionnés en fonction du nombre d'éditions. Leurs recherches ont produit un corpus numérisé, le «Corpus dei galatei italiani ottocenteschi», accompagné de son analyse. «Découvrir ces règles de manière si explicite était fantastique», note Annick Paternoster.

Les formules de politesse qui indiquaient le rang de la personne dans la société ont aujourd'hui disparu. Il serait de nos jours très ironique de répondre à une demande par «toujours à votre service», note la linguiste. Certaines expressions ont en revanche perduré. «Lorsqu'il s'agit d'exprimer un avis contraire, donc d'éviter un conflit ouvert, les parallèles avec l'usage actuel sont très reconnaissables», explique Annick Paternoster. Il était par exemple considéré comme impoli d'exprimer son désaccord en disant «ce n'est pas vrai». La variante polie consistait à diminuer l'effet de son opposition en commençant par «il me semble que...». Et c'est toujours le cas aujourd'hui. *Pascale Hofmeier*

A. Paternoster and F. Saltamacchia (2017): (Im) politeness formulae and (im) politeness rules: metadiscourse and conventionalisation in 19th Century Italian conduct books. In: E. M. Pandolfi et al. (ed.), Studies on Language Norms in Context, Peter Lang, Frankfurt am Main, 2017



Ce manuel de bonne conduite de 1907 était au programme des académies militaires italiennes.



Barrière ou passerelle, les falaises de Douvres forment une partie de l'identité britannique.

Les regards d'écrivains sur le couple Grande-Bretagne - Europe

Le Brexit a verrouillé la Manche, du moins dans l'esprit de nombreux Britanniques. Pour sa campagne en faveur de la sortie de l'UE, l'UKIP (UK Independence Party) a fait afficher un escalier roulant vers le sommet des célèbres falaises blanches de Douvres. Avec un message clair: il faut fermer les frontières pour éviter un afflux trop important de migrants.

Le bras de mer joue un rôle complexe pour les Britanniques, et la littérature en témoigne. «Une frontière est une zone qui sépare mais aussi relie», indique Melanie Küng, du département de lettres et civilisation anglaise de l'Université de Bâle. Elle montre dans son doctorat que les écrivains voient dans la Manche davantage qu'une simple séparation avec le continent à l'origine de l'identité insulaire britannique. L'écrivain Tom Fort voyage par exemple le long de la côte sur les traces de liens avec le reste de l'Europe; il évoque le tunnel et les ports. Jamaica Kincaid, qui a grandi à Antigua dans les Caraïbes sous domination britannique, dépeint de manière acerbe les falaises blanches de la côte comme réservées aux blancs qui s'identifient avec leur couleur.

«La littérature est certes impuissante face à la politique, mais elle est aussi clairvoyante», souligne Melanie Küng. Dans les années 1990, la littérature a thématiqué le caractère multiple de la Manche, alors que le discours économique dominant, marqué par la mondialisation et la numérisation, niait les frontières. Toutefois, la situation d'aujourd'hui, dit la doctorante, a déjà été décrite par la fiction. *Urs Hafner*

Projet «British Literary and Cultural Discourses of Europe», Université de Bâle.

mepo/Shutterstock

Plaidoyer pour une nature artificielle

La protection de l'environnement exige un changement de perspective radical, affirme l'écologue Christoph Küffer. Afin de préserver la biodiversité, l'humanité ne doit pas tenter de conserver tels quels les derniers espaces vierges, mais au contraire intervenir encore davantage.

Par Stefan Stöcklin

Pour les milieux de la protection de l'environnement, le constat est amer: malgré tous les efforts, la biodiversité s'étiolle pratiquement sans frein. En Suisse, un tiers des 45 000 espèces de plantes et d'animaux connues sont menacées. Des centaines ont disparu dans un passé récent, d'autres sont sous pression.

Pour Christoph Küffer, il faut aborder le problème sous un angle radicalement différent. «Dans notre pays, les aires dignes de protection s'avèrent trop fragmentées pour permettre de préserver leur biodiversité», note le professeur de la Haute école technique de Rapperswil et de l'ETH Zurich. De plus, le CO₂ et l'azote produits par l'homme transforment irréversiblement tous les biotopes. A l'ère de l'Anthropocène, l'idée de conservation ne suffit plus, affirme le spécialiste en écologie urbaine. Sa proposition: redessiner la nature comme le ferait un designer. «La seule solution pour préserver la biodiversité consiste à inventer la nature de l'avenir et à la modeler.»

Paradis artificiel

Cette approche se démarque radicalement des pratiques en vigueur, par exemple dans le Parc national suisse, aux Grisons. Les animaux et les plantes doivent y vivre tranquille, autant que possible. Toute intervention de l'homme y est mal vue.

Plutôt que de laisser la nature vierge à elle-même, Christoph Küffer revendique au contraire que l'homme intervienne davantage pour préserver sa diversité ou

la recréer. Il n'exclut pas des ingérences sur les aires protégées et dit s'imaginer flanquer de prairies maigres l'un des derniers grands marais de Suisse, le Neeracherried près de Zurich. On créerait ainsi artificiellement une biodiversité particulièrement riche et dense. Les nombreuses petites aires protégées du Plateau suisse pourraient, elles aussi, profiter d'un aménagement plus intensif qui enrichirait le nombre des espèces présentes.

«La seule solution pour préserver la biodiversité, c'est de modeler la nature.»

Christoph Küffer

Redessiner la nature signifierait également créer des jardins suspendus sur les toits, des murs végétaux ou des parcs pour offrir de nouveaux habitats aux espèces délogées par l'urbanisation. La célèbre High Line de New York, un parc aménagé sur une ancienne ligne ferroviaire aérienne au cœur de Manhattan, représente une concrétisation exemplaire des idées défendues par Christoph Küffer. «Une nature aménagée signifie que n'importe quel lieu peut être transformé en paradis naturel.» A l'avenir, la biodiversité pourrait se composer d'un mélange d'espèces sauvages et de plantes utiles et ornementales, intégrées dans l'espace culturel humain.



Exemple frappant de biodiversité artificielle: la High Line de New York, créée sur une voie ferrée aérienne désaffectée.

Photo: Keystone/AP Photo/Mark Lennihan, File

Pour Christoph Küffer, un tel réaménagement déplacerait la responsabilité de la protection de la nature: non plus les spécialistes et les fonctionnaires, mais les jardiniers, les agriculteurs et les passionnés, des personnes qui s'en occupent depuis toujours. Beaucoup plus complexe et désordonnée, elle entraînerait l'extinction de certaines espèces menacées parce que la réduction de leur biotope ne serait pas totalement compensée.

Les espèces rares condamnées

Mais la politique actuelle ne fait pas mieux, relève l'écologue. Il est convaincu que son approche s'avérerait en définitive plus efficace. Les conséquences des activités humaines entraîneront de toute façon la disparition des espèces les plus rares, quelles que soient les sommes investies pour les sauver. Mais les différentes aires aménagées permettraient d'en protéger de nombreuses un peu moins menacées.

Les thèses de Christoph Küffer ne font pas l'unanimité dans les milieux concernés. Spécialiste en écologie végétale à l'Université de Berne et président du Fo-

rum Biodiversité Suisse, Markus Fischer estime également qu'il est presque impossible de préserver aujourd'hui la nature dans son ensemble comme on voulait le faire il y a cent ans. Mais, pour lui, le problème vient du manque de moyens financiers et de détermination politique. «Il faut donner la priorité à la biodiversité sur 30% des surfaces si on veut la préserver et la renforcer», explique-t-il. En partie sur des aires protégées qui, aujourd'hui, ne représentent que 10% des surfaces en Suisse, et en partie sur des surfaces utiles bénéfiques à la biodiversité.

Raffael Ayé de Birdlife Suisse relève qu'il y a aussi des concepts novateurs dans la protection de la nature traditionnelle: «Nous recourons depuis déjà les années 1980 à des mesures intégrées pour protéger et exploiter en même temps certaines zones.» Il ne faut à aucun prix perdre de vue les objectifs fixés, poursuit-il: «Nous devons continuer d'investir dans la protection des aires les plus précieuses telles que les prairies sèches ou le Parc national», dit-il. Comme Markus Fischer, il souhaite davantage de soutien de la part des politiques,

soit plus de moyens, une meilleure reconnaissance et une attention accrue pour les biotopes menacés.

Christoph Küffer réalise parfaitement qu'une bonne partie de ses collègues prennent ses propositions comme une provocation, mais il ne cherche pourtant pas à monter différentes positions les unes contre les autres. Les recettes actuelles de la protection de la nature - aires protégées et soutien à différentes espèces - se justifient parfaitement selon lui. Mais l'expert non conformiste reste convaincu: «De nouvelles idées et une approche différente sont indispensables si l'on veut protéger la biodiversité dans une époque de changements climatiques, d'exploitation intensive des sols et de ressources limitées.»

Stefan Stöcklin est rédacteur pour l'Université de Zurich.



Avec son oxygène raréfié, cette chambre hypoxique est censée augmenter le taux d'hémoglobine des sportifs ainsi que leurs performances.

Photo: Keystone/Aurora/Rob Hammer

L'effet placebo de l'air des montagnes

L'entraînement en altitude promet d'accroître les performances des athlètes. Mais des études récentes ne relèvent aucun effet.

Par Florian Fisch



«Rien d'autre
qu'un effet placebo.»

Carsten Lundby

«Il est clair que l'entraînement
en altitude peut avoir des
effets positifs.»

Jon Wehrlin

Avant d'atterrir à Rio de Janeiro en août 2016, la triathlète Nicola Spirig et le cycliste Nino Schurter se sont préparés en altitude. Pendant plusieurs semaines, ils ont vécu au-dessus de Saint-Moritz en s'entraînant chaque jour dans la vallée. Ce séjour avait été agendé de manière à précéder de 14 à 25 jours les compétitions. Il devait améliorer leurs performances lors des Jeux olympiques.

Le physiologiste danois Carsten Lundby est venu en 2010 à l'Université de Zurich pour étudier l'effet de l'entraînement en altitude sur les performances. Selon la littérature scientifique, il augmente la concentration en hémoglobine, la protéine qui transporte l'oxygène dans le sang: afin de compenser la raréfaction de l'air, le corps en produit davantage. De retour à une altitude et à une pression normales, cette surcapacité améliore la performance. Du moins en théorie.

Saturés d'hémoglobine

Car Carsten Lundby se convainc après quelques tests que cette méthode n'apporte rien. Lorsque son équipe analyse le sang d'athlètes après un entraînement en altitude, elle ne constate aucune différence. Son hypothèse: les sportifs ont déjà un tel taux d'hémoglobine que le séjour sur les hauteurs ne change rien.

Il veut toutefois approfondir la question. «Nous avons organisé la première étude menée comme pour les médicaments: en double aveugle et contrôlée (comparée avec des placebos, ndr)», explique le chercheur. La moitié des participants dorment dans des chambres à la concentration en oxygène réduite, l'équivalent d'une altitude de 3000 mètres, l'autre moitié dans un air normal. Les athlètes ne savent pas plus que les chercheurs à quel groupe ils appartiennent.

Au total, il mène six études contrôlées avec des groupes de 15 à 19 cyclistes ou skieurs de fond. Sa conclusion: «Rien d'autre qu'un effet placebo. Nous n'avons constaté aucune différence quand les athlètes ne connaissaient pas leur groupe.» La procédure n'est efficace qu'à des altitudes irréalistes. Dans un article qui passe en revue les études publiées dans la littérature spécialisée, Carsten Lundby, maintenant professeur à Copenhague, conseille aux sportifs d'élites de renoncer à cette forme d'entraînement onéreuse.

Mais ses conclusions ne font pas l'unanimité. Jon Wehrlin, un spécialiste de la physiologie de l'endurance à la Haute école fédérale de sport de Macolin (BE), relativise: «De nombreuses études prises

en considération dans l'article de Lundby présentent des erreurs méthodologiques.» Certaines n'ont pas attendu la bonne fenêtre temporelle et d'autres ont simulé une altitude insuffisante. Pas étonnant de ne pas avoir observé d'amélioration. Sa longue expérience lui a appris «que les effets positifs diffèrent selon les athlètes». De plus, il n'est pas possible de leur cacher le groupe d'étude - pression réduite ou contrôle - auquel ils appartiennent. Pour lui, «il est clair depuis quinze ans que l'entraînement en altitude peut avoir des effets positifs dans le sport d'endurance».

Collègues en désaccord

Selon Grégoire Millet, professeur de physiologie à l'Université de Lausanne, l'entraînement en altitude est susceptible d'améliorer les performances de 3% dans le meilleur des cas. En 2012, il avait publié - avec Carsten Lundby - un tour d'horizon de la littérature spécialisée et formulé des normes pour des études plus sérieuses.

Leurs chemins ont ensuite divergé. Grégoire Millet a développé le «repeated sprint training» où un apport réduit d'oxygène doit permettre de repousser le début de la fatigue musculaire lors d'un effort maximal. Il a montré dans plusieurs études que cette méthode améliore l'irrigation sanguine des muscles. La littérature scientifique soutient également l'entraînement en altitude pour d'autres variantes: «Plus de 70 articles ont paru depuis 1997 sur la variante la plus populaire, «live high, train low», et deux seulement mentionnent un effet placebo.»

Un troisième auteur du bilan de 2012, Peter Bärtsch, ne prend pas parti. L'ancien directeur du département de médecine du sport de l'Université d'Heidelberg souligne la qualité des études menées par Carsten Lundby. Sa conclusion: «Je recommanderais toujours aux athlètes un entraînement «live high, train low», bien que l'on ne sache pas vraiment si son efficacité repose sur la psychologie ou la physiologie.»

Florian Fisch est rédacteur scientifique au FNS.

—
C. Lundby and P. Robach: Does altitude training increase exercise performance in elite athletes? *Experimental Physiology* (2016)

F. Brocherie et al.: Effects of Repeated-Sprint Training in Hypoxia on Sea-Level Performance: A Meta-Analysis. *Sports Medicine* (2017)



Une expérience analyse l'efficacité de la stimulation cérébrale sur la dyslexie. Photo: Nicolas Righetti/Lundi13

Une électrothérapie contre la dyslexie

La stimulation électrique du cerveau amplifie les ondes cérébrales naturellement présentes. Et offre une nouvelle approche thérapeutique de la dyslexie.

Par Yvonne Vahlensieck

La lecture et l'écriture constituent des acquisitions relativement récentes pour l'humanité, et ne sont donc pas préprogrammées dans le cerveau. Il faut plusieurs années pour apprendre à transformer signes écrits en langage parlé, et inversement. Mais cela ne fonctionne pas toujours: certains enfants mélangent les lettres, font d'innombrables fautes d'orthographe et ne parviennent à lire que de manière saccadée. Entre 5% et 15% de la population souffre de tels troubles de dyslexie.

Ces difficultés ne résultent pas d'un manque d'intelligence. Les neuroscientifiques les attribuent à un déficit du lien entre la zone cérébrale de la parole et celle de l'écriture. «Le problème ne provient pas en premier lieu de l'ouïe ou de la vue, mais du point où le traitement auditif et visuel du langage se rencontrent, explique Daniel Brandeis, professeur de neurophysiologie à l'Université de Zurich. C'est là que le langage parlé est découpé en éléments distincts et associé aux motifs visuels des lettres, qui sont reconnus par des zones spécialisées du cerveau.»



la stimulation électrique, la psychologue Katharina Rufener, de l'Université Otto von Guericke de Magdebourg (Allemagne), souhaite corriger les ondes affectées: «L'objectif consiste à normaliser l'état physiologique de base du cerveau afin que les thérapies agissent mieux.»

Les neurones produisent de manière synchronisée plusieurs types d'oscillations qui remplissent différentes fonctions selon leur fréquence. Les ondes gamma, qui sont perturbées en cas de dyslexie, affichent une fréquence de 25 à 40 hertz et sont impliquées dans le traitement du langage verbal. «Le cerveau dispose d'environ 25 millisecondes pour reconnaître chaque phonème, explique Katharina Rufener. Cette fréquence d'échantillonnage correspond environ à la période d'une oscillation gamma. En cas de dyslexie, l'oscillation est trop lente ou trop rapide, ce qui brouille la fréquence d'échantillonnage du signal acoustique de la langue. C'est la raison pour laquelle les phonèmes ne peuvent pas être distingués.»

Pour ramener les oscillations perturbées dans le bon rythme, Katharina Rufener a appliqué des stimulations cérébrales sur des personnes souffrant de dyslexie, à l'aide de deux électrodes posées sur la tête. Un faible courant alternatif génère la fréquence souhaitée et la transmet aux neurones dans des régions précises.

Durant ces expériences, les participants doivent effectuer des exercices de différenciation des phonèmes. Les enfants et les jeunes ont obtenu de meilleurs résultats avec une excitation dans les fréquences gamma. La chercheuse veut désormais tester dans une deuxième série d'expériences l'effet des autres types d'ondes cérébrales, qui sont perturbées chez la majorité des personnes dyslexiques.

Incertitudes sur le long terme

Il n'est pas encore clair si cette méthode peut apporter une amélioration sur le long terme. Après une séance, le cerveau retrouve presque immédiatement ses oscillations originales. Certains indices montrent toutefois que l'effet se maintient plus longtemps lorsque les interventions sont répétées sur une période plus longue.

Anne-Lise Giraud, professeur de neurosciences à l'Université de Genève, estime qu'il est encore trop tôt pour utiliser cette technique à des fins thérapeutiques. «Nous ne savons toujours pas ce qu'il se passe exactement lors d'une stimulation cérébrale.» En collaboration avec le Centre Wyss pour la bio et neuroingénierie au Campus Biotech de Genève, la chercheuse mène des expériences similaires à celles de Katharina Rufener, mais pour l'instant uniquement sur des adultes ne souffrant pas de dyslexie. «Nous observons une amélioration de la capacité à reconnaître les sons. Mais nous obtenons aussi beaucoup de résultats contradictoires.»

Anne-Lise Giraud veut d'abord effectuer davantage de recherche fondamentale. Il

n'est pas encore entièrement clair si les ondes gamma sont toujours présentes: «Nous pensons que le cerveau lui-même ne produit qu'un faible signal qui se renforce avec l'audition.» Ses recherches montrent par ailleurs que les oscillations gamma sont couplées à d'autres types d'ondes cérébrales, qui permettent peut-être au cerveau de s'adapter aux différentes vitesses de langage. Pour tester ses hypothèses, Anne-Lise Giraud a développé un programme de simulation par ordinateur. «Le modèle représente un réseau de neurones qui produit des oscillations gamma et dans lequel nous pouvons envisager tous ces différents scénarios.»

«Malgré les succès thérapeutiques, la lecture reste souvent astreignante pour les personnes les plus affectées.»

Daniel Brandeis

Même si ce type d'interactions n'a pas encore été étudié dans le détail, Daniel Brandeis juge la stimulation électrique cérébrale très prometteuse. «Je peux imaginer qu'elle améliorera de manière décisive les thérapies existantes et permettra des changements plus rapides et plus durables pour les patients.» Il ne faut toutefois pas s'attendre à une guérison complète. «Malgré les succès thérapeutiques, la lecture reste souvent astreignante pour les personnes les plus affectées. Elles ne pourront que rarement lire avec la même facilité que les personnes non dyslexiques.»

La journaliste Yvonne Vahlensieck vit près de Bâle.

—
K. S. Rufener et al.: Transcranial Alternating Current Stimulation (tACS) differentially modulates speech perception in young and older adults. Brain Stimulation (2016)

Ces résultats correspondent aux expériences faites par les pédagogues sur le terrain: les enfants dyslexiques peinent à fractionner la langue dans ses plus petites unités, les phonèmes. Ils ont par exemple des difficultés à taper dans les mains sur chaque syllabe ou à différencier les sons «t» et «d». Les traitements proposés se concentrent sur ces insuffisances. «Les exercices purement visuels - qui n'incluent pas la parole - n'ont pas d'effet positif sur la lecture et l'écriture, indique Anke Sodeg, professeure à la Haute école intercantonale de pédagogie curative de Zurich. En revanche, travailler sur la différenciation et l'assimilation des sons a fait ses preuves.» Mais elle tempère et souligne que malgré les efforts, les progrès restent souvent minimes.

Des ondes cérébrales perturbées

Une nouvelle approche de thérapie neurologique pourrait améliorer l'effet de ces exercices. Les scientifiques ont observé que certaines oscillations neuronales dans le cerveau des personnes dyslexiques présentent un rythme perturbé. Avec l'aide de

Des bactéries qui protègent la descendance

Dans les premières semaines de la vie, le système immunitaire des mammifères n'a pas encore atteint son plein développement. C'est pourquoi la mère apporte à ses petits des anticorps qui les protègent d'agents pathogènes dangereux, d'abord par le placenta, puis par le lait maternel.

L'équipe d'Andrew Macpherson à l'Hôpital de l'île à Berne a découvert que la contribution de la mère va bien au-delà. Elle a étudié l'effet de bactéries intestinales connues pour leur influence positive sur la digestion et le système immunitaire. Leur présence dans les intestins de souris gravides a renforcé la flore et les défenses immunitaires des souriceaux à naître. Cet effet se manifeste aussi sans exposition ultérieure directe à ces bactéries.

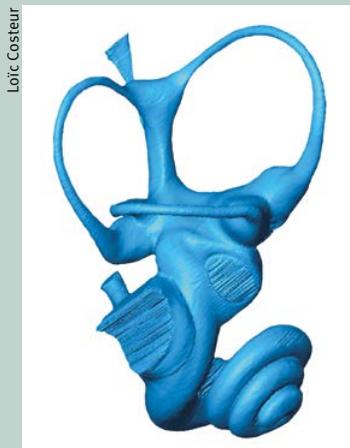
La flore maternelle exerce en particulier son influence sur des cellules du système immunitaire inné qui sont principalement actives dans la muqueuse intestinale. Ces cellules lymphoïdes se reproduisent mieux chez les petits nés de mères spécifiquement dotées de bactéries que dans le groupe contrôle. Les essais ont été menés dans un environnement stérile.

«Le système immunitaire inné des souriceaux réagit aux bactéries provenant de la mère, ce qui le prépare à une colonisation microbienne de l'intestin après la naissance, explique Andrew Macpherson. Nous avons aussi pu montrer que ce sont des anticorps transmis par la mère qui déclenchent la multiplication des cellules lymphoïdes.» Les chercheurs veulent maintenant examiner si la flore intestinale maternelle exerce aussi une influence sur le développement ultérieur des souriceaux. *Karin Hollricher*

S. C. Ganai-Vonarburg et al.: Maternal microbiota and antibodies as advocates of neonatal health. *Gut Microbes* (2017)



Le système immunitaire d'un souriceau est déjà entraîné avant la naissance.



La reconstruction de l'oreille interne d'un fœtus de vache témoigne de l'évolution des ruminants.

L'histoire commune des oreilles bovines et humaines

L'oreille interne qui contient les organes de l'ouïe et de l'équilibre se trouve solidement implantée à l'intérieur du crâne. Au cours du développement prénatal, ce labyrinthe composé par la clochée et le vestibule se forme à partir de cellules de cartilage et s'ossifie. Pour les biologistes, ce processus offre une mesure intéressante des changements évolutifs.

Loïc Costeur du Musée d'histoire naturelle de Bâle a étudié la croissance prénatale de l'oreille interne chez le fœtus de la vache et a découvert d'étonnantes similitudes avec les humains: «L'ossification du labyrinthe intervient après cinq mois de gestation chez les bovins, soit à peu près aussi rapidement que chez les humains.»

Le chercheur et ses collègues de l'Hôpital universitaire de Bâle ont examiné au scanner les crânes de fœtus de veaux à différents stades de développement ainsi qu'un exemplaire arrivé à maturité pris dans la collection du musée. Les tomographies ont montré que le labyrinthe croît rapidement dans les premières phases du développement et s'ossifie tôt. En revanche, le rocher, massif, qui abrite l'oreille interne grandit encore après la naissance en combinaison avec les autres éléments de l'os temporal.

«Ces caractérisations sont importantes pour mieux comprendre les liens entre les espèces au cours de l'évolution», explique Loïc Costeur. Ses recherches représentent un premier pas vers une étude plus générale des ruminants. Si l'on considère que l'histoire de leur évolution peut être retracée sur plus de 45 millions d'années, il est étonnant que l'oreille interne de l'homme se soit développée de manière analogue. *Stefan Stöcklin*

L. Costeur et al.: Prenatal growth stages show the development of the ruminant bony labyrinth and petrosal bone. *Journal of Anatomy* (2016)

Le champignon sauveur de fèves

Les larves du hanneton, ou vers blancs, vivent dans le sol où elles dévorent les racines des plantes. Elles favorisent ainsi l'érosion des terres fertiles dans les vallées alpines et posent un sérieux problème à l'agriculture. Les insecticides synthétiques qui permettent d'exterminer ces larves sont interdits en Suisse. Jürg Enkerli du centre de recherche agricole Agroscope de Reckenholz cherche des moyens biologiques pour combattre ce ravageur. Il examine actuellement les possibilités offertes par un champignon, le *Beauveria brongniartii*, dont les spores attaquent les vers blancs.

Les champignons qui s'en prennent aux insectes résident généralement dans le sol. Certains peuvent aussi vivre à l'intérieur des plantes, ce qu'on appelle la colonisation endophyte. Jürg Enkerli et sa collègue jordanaise Lara Jaber ont découvert récemment que le *Beauveria brongniartii* se développe aussi dans les plantes. Ils ont pulvérisé des spores sur des feuilles de fèves et disent avoir été surpris de ne constater aucune réaction de stress ou de défense. La croissance des fèves traitées s'est au contraire avérée plus rapide que celle des plantes de contrôle qui ne l'avaient pas été.

Les chercheurs ignorent encore pourquoi les champignons favorisent cette croissance. Ils ne savent pas non plus s'ils protègent les plantes contre l'appât dévastateur des larves, indique Jürg Enkerli. Cela ouvrirait de nouvelles possibilités dans la lutte biologique contre le vers blanc. *Ori Schipper*

L. R. Jaber, and J. Enkerli: Fungal entomopathogens as endophytes: can they promote plant growth? *Biocontrol Science and Technology* (2017)



En poussant autour des tiges de fèves, ces champignons peuvent favoriser leur croissance.

Authentifier la nourriture par son ADN

Une startup lausannoise sort les tests génétiques des laboratoires. Son produit vise à accélérer l'analyse des aliments afin d'en faciliter l'authentification.

Texte: Daniel Saraga
Infographie: ikonaut

L'empreinte génétique des aliments

Swissdecode a développé un test ADN rapide pour l'industrie alimentaire. Il reconnaît une séquence génétique spécifique liée à un certain composant potentiellement présent dans l'échantillon, comme du porc dans un produit halal ou une moisissure dans du maïs.

Domaines d'utilisation

Conformité: assurer qu'un produit alimentaire respecte les normes (cashier, végétarien, sans OGM, etc.)



Authentification: garantir qu'un produit n'est pas victime de contrefaçons (AOC, café arabica, saumon royal, etc.)



Hygiène: vérifier l'absence de moisissures dans une cargaison.



160 000



animaux

60 000



végétaux

Le test s'appuie sur une base de données de plus de 240 000 «empreintes génétiques» d'animaux, végétaux et microbes.

20 000

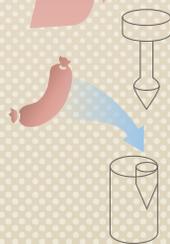


microbes

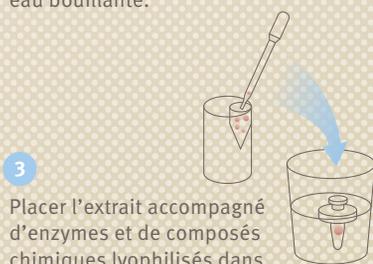
Un test génétique en 30 minutes



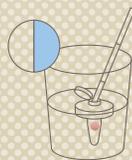
1 Verser eau courante et eau bouillante.



2 Ecraser l'échantillon de nourriture afin d'en condenser le matériel génétique.



3 Placer l'extrait accompagné d'enzymes et de composés chimiques lyophilisés dans le bain-marie (55 - 65°C).

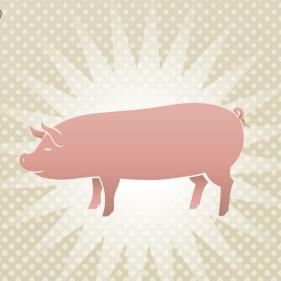


4 Après 30 minutes, insérer la bande de test.



5

Un marqueur reconnaît l'empreinte du composé cible et produit un composé ADN synthétique. Celui-ci monte par capillarité le long de la bande de test et déclenche une réaction chimique de couleur.



Fake news: Maigret au pays des tulipes

Par Matthias Egger

Amsterdam. La caméra survole le canal des Princes. Soudain, la vue pittoresque laisse place à l'horreur: le corps sans vie d'un jeune homme est repêché dans le Brouwersgracht. La victime, un chercheur russe en oncologie, avait mis des millions d'articles scientifiques gratuitement à disposition sur Internet.

Dans son sac, les enquêteurs récupèrent une facture de taxi et une adresse: Sonarweg 31, le siège de Greed Elsegier, la maison d'édition scientifique la plus puissante au monde. Quelques jours plus tard, son CEO sera retrouvé mort dans son bureau.

Cet épisode de Tatort (une série policière allemande, nldr) illustre au plus proche de la réalité les abus des maisons d'édition scientifiques. Leur modèle d'affaires relève du génie: elles privatisent les résultats de travaux financés par la société. Elles les publient dans des revues auxquelles doivent s'abonner les universités, à nou-

Manu Friederich



veau grâce à l'argent du contribuable. Le marché est dominé par quelques acteurs qui profitent sans scrupule de leur pouvoir. Leurs tarifs toujours en hausse leur ont permis de générer depuis longtemps des rendements supérieurs à 30%. En 2015, le CEO de Reed Elsevier a touché un salaire de 16 millions de livres.

«Nous avons le pouvoir de changer les règles du jeu.»

Cet épisode de Tatort doit encore être tourné. Ce serait une bonne chose: il pourrait sensibiliser le grand public et le monde politique à l'importance du mouvement open access. Son objectif est d'empêcher que la collectivité doive racheter le savoir académique aux éditeurs.

Mais il ne faut pas attendre un tel épisode pour agir. Nous avons le pouvoir de changer les règles du jeu. Nous devons enfin arrêter d'alimenter avec l'argent des contribuables ce business bien trop profitable.

Matthias Egger est président du Conseil national de la recherche du FNS.

Courrier des lecteurs

Le sélénium vient plutôt de la viande

L'article consacré au sélénium (Horizons 112, p. 47) m'a permis de mieux comprendre le cycle mondial de cet oligo-élément. J'intégrerai la carte dans mes cours, car je cherche toujours à présenter aux étudiants la nutrition dans un contexte aussi large que possible. J'ai cependant été irritée par l'affirmation que «l'homme l'absorbe principalement en consommant des produits végétaux». Ce serait exact si le fourrage n'était pas enrichi au sélénium dans nos élevages. L'étude la plus actuelle sur la couverture des besoins en sélénium en Suisse (Burri et al., 2010) conclut:

«Meat remained one of the most important Se sources in Switzerland. According to the first dietary intake estimation, at least 20% is covered by this food group.»

Stephanie Baumgartner, enseignante en nutrition et en diététique, HESD

23 et 24 juin

Futur des régions touristiques

Quelles sont les possibilités et les modèles de développement du tourisme alpin en Suisse?

[Kongress- und Kulturzentrum Pontresina](#)

Du 16 juin au 17 juillet

«Les dernières de leur espèce»

Le programme d'été des jardins botaniques dans l'ensemble de la Suisse.

[Toute la Suisse](#)

17 et 18 août

La viande sous toutes ses formes

Le congrès de la Société suisse de chimie alimentaire aborde les risques et les défis analytiques des produits carnés.

[Université de Neuchâtel](#)

29 août

ETH Industry Day

Les entreprises s'informent sur les principaux projets de recherche actuels et les spin-offs, et nouent des contacts avec les scientifiques.

[ETH Zurich](#)

Jusqu'au 10 septembre

L'imaginaire des sciences

L'exposition montre comment les découvertes scientifiques ont inspiré les œuvres de Friedrich Dürrenmatt.

[Centre Dürrenmatt Neuchâtel](#)

21 et 22 septembre

Show Me Science!

Le congrès annuel ScienceComm permet aux acteurs de la communication scientifique de se rencontrer.

[Landhaus Solothurn](#)

Jusqu'au 26 novembre

La mécanique du ventre

L'exposition présente tous les aspects de la digestion, du choix de la nourriture aux bruits, en passant par le microbiote.

[Muséum d'histoire naturelle de Neuchâtel](#)

Planifier l'accès aux données

123dartist/Shutterstock



Dès octobre 2017, le FNS demande aux chercheurs et chercheuses d'intégrer un plan de gestion des données (ou DMP pour Data Management Plan) à leur requête. Il peut être adapté en cours de route, mais une version définitive doit être disponible à la fin du projet. Le DMP est un pas important vers le libre accès aux données issues de la recherche. Leur cycle de vie sera pris en considération avant le début des travaux.

Nanomatériaux: potentiel et problèmes

Vingt-trois projets ont étudié les nanomatériaux à différents stades de leur cycle de vie. Ce printemps, leurs responsables ont présenté le rapport de synthèse du PNR 64 «Opportunités et risques des nanomatériaux». Une majorité de projets se sont concentrés sur l'environnement et la biomédecine.

Des universités plus durables



Le programme Sustainable Development at Universities de la Confédération est terminé. Doté d'environ 4 millions de francs, il a considérablement contribué à ancrer la durabilité dans la recherche et l'enseignement. Coordonné par les Académies suisses des sciences, le programme a soutenu 54 projets au cours des quatre dernières années.

Procédure de sélection évaluée

Des évaluateurs externes du Nordic Institute for Studies in Innovation, Research and Education et un groupe d'experts scientifiques ont examiné le processus de sélection des Pôles de recherche nationaux. Les experts dressent un bilan

globalement positif, mais voient des améliorations possibles dans l'élargissement de l'expertise, la transparence vis-à-vis des requérants et la durée du processus de sélection. Le FNS tiendra compte de ces recommandations lors des prochaines mises au concours.

Collaboration internationale simplifiée

Le nouvel outil du FNS Scientific Exchanges soutient les manifestations scientifiques internationales et les échanges entre chercheurs. Il regroupe les programmes Réunions scientifiques, International Exploratory Workshops et International Short Visits. Les chercheurs peuvent désormais voir toutes les offres en un coup d'œil.

Encourager les carrières académiques féminines



Les femmes professeures sont sous-représentées dans les hautes écoles suisses. Afin d'encourager les vocations féminines, le FNS lance le programme Prima (Promoting Women in Academia). Il est ouvert aux chercheuses de toutes les disciplines à partir du niveau post-doc qui visent une carrière académique dans une haute école suisse. La mise au concours aura lieu le 1er août 2017. Un budget de 15 millions de francs permettra de financer les 10 à 12 projets les plus prometteurs.

Soutien à l'innovation

Bridge, le nouvel outil commun de soutien à l'innovation du FNS et de la Commission pour la technologie et l'innovation, suscite l'intérêt. 102 requêtes ont été envoyées pour le programme Proof of Concept qui s'adresse aux jeunes scientifiques souhaitant développer une application sur la base de leur travail de recherche. Jusqu'à 130 000 francs seront attribués à chacun des 11 projets retenus.

Horizons

Le magazine suisse de la recherche paraît quatre fois par an en français et en allemand. Une version anglaise est disponible en ligne. 29^e année, n° 113, juin 2017. www.snf.ch/horizons

Editeur

Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS)
Wildhainweg 3
Case postale
CH-3001 Berne
Tél. 031 308 22 22
abo@snf.ch

Académies suisses des sciences
Maison des Académies
Laupenstrasse 7
Case postale
CH-3001 Berne
Tél. 031 306 92 20
info@akademien-schweiz.ch

Rédaction

Daniel Saraga (dsa), direction
Marcel Falk (mf), Florian Fisch (ff),
Pascale Hofmeier (hpa), This Rutishauser (tr)

Graphisme, rédaction photos

2. stock süd netthoewel & gaberthüel,
Valérie Chételat
Illustration éditorial: Gregory Gilbert-Lodge

Traduction

Sophie Gaitzsch, Olivier Huether

Correction

Jean-Pierre Grenon

Impression et lithographie

Stämpfli SA, Berne et Zurich
Climatiquement neutre, myclimate.org
Papier: Refutura FSC, Recycling, matt
Typographie: FF Meta, Greta Text Std

Tirage

36 100 exemplaires en allemand et
16 000 en français

© Tous droits réservés.

Reproduction possible avec l'autorisation de l'éditeur.
ISSN 1663 2710

L'abonnement est gratuit. La version papier est normalement distribuée en Suisse et, à l'étranger, à des organisations.

Les articles publiés n'engagent pas les éditeurs (FNS et Académies). Les projets de recherche présentés sont soutenus en règle générale par le FNS.

Le FNS

Sur mandat de la Confédération, le FNS encourage la recherche fondamentale et soutient chaque année, grâce à quelque 800 millions de francs, plus de 3400 projets auxquels participent environ 14 000 scientifiques. Il constitue ainsi la principale institution d'encouragement de la recherche scientifique en Suisse.

Les Académies

Sur mandat de la Confédération, les Académies suisses des sciences s'engagent en faveur d'un dialogue équitable entre la science et la société. Elles représentent la science, chacune dans son domaine respectif, mais aussi de façon interdisciplinaire. Leur ancrage dans la communauté scientifique leur permet d'avoir accès à l'expertise de quelque 100 000 chercheurs.

«Il faut s'intéresser à tout.»
Kevin Schawinski page 31

«Une voiture semi-autonome
doit percevoir l'état émotionnel
du conducteur.»

Jean-Philippe Thiran page 40

«Des cours totalement
unilingues ne sont
plus tenables.»
Rita Franceschini page 23



**Ce nounours du XXIe siècle
s'appelle Musio X. Il peut
dialoguer et ainsi aider les
enfants à apprendre l'anglais.**

Image: AKA, LLC